

В. А. ВАСИЛЬЕВ

ЗАРУБЕЖНЫЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году

Выпуск 1048

В. А ВАСИЛЬЕВ

ЗАРУБЕЖНЫЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

Издание второе,
переработанное, дополненное

МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1982

ББК 32.849.9
В19
УДК 621.396.61—87

Васильев В. А.

В19 Зарубежные радиолюбительские конструкции. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1982. — 96 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1048).
65 к.

Описываются назначение и устройство различных радиолюбительских конструкций, данные о которых публиковались за рубежом. Даются рекомендации по изготовлению их из доступных деталей и узлов отечественного производства, а также по налаживанию.
Для широкого круга радиолюбителей.

В $\frac{2402020000\text{-}007}{046(01)\text{-}82}$ 188-82

ББК 32.849.9
6Ф2.9

РЕЦЕНЗЕНТ КАНД. ТЕХН. НАУК В. С. ТЕМКИН

ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ ВАСИЛЬЕВ

Зарубежные радиолюбительские конструкции

Редактор издательства Н. В. Ефимова
Худ. редактор Г. Н. Ковaнов
Обложка художника В. Д. Козлова
Технические редакторы Л. А. Горшкова, Л. К. Грачева
Корректор Л. В. Алексеева

ИБ № 2340

Сдано в набор 27.07.1981 г. Подписано в печать 19.10.1981 г.
Т-25484 Формат 60Х90$^1/_{16}$ Бумага книжно-журнальная Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 6,0 Усл. кр.-отт. 6,375 Уч.-изд. л. 8,45
Тираж 100 000 экз. Изд. № 19442 Зак. № 98/616 Цена 65 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Набрано в типографии издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
101000 Москва, ул Кирова, д. 40
Отпечатано в Подольском филиале ПО «Периодика», г. Подольск, ул. Кирова. д. 25

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание книги вышло в 1977 г. В него вошли описания около ста радиолюбительских конструкций, опубликованные в 1967—1973 гг. на страницах популярных радиолюбительских журналов многих стран мира. При отборе схем и конструкций автор учитывал новизну, оригинальность и простоту исполнения, а также возможность их повторения при использовании доступных деталей и узлов отечественного производства.

Во втором издании учтено большое число замечаний и пожеланий читателей. Содержание ее значительно обновлено: расширены разделы, посвященные электромузыкальным инструментам, устройствам звукозаписи и звуковоспроизведения, введена дополнительная глава, посвященная громкоговорителям.

При повторении зарубежных конструкций не всегда удается подобрать аналоги среди отечественных полупроводниковых приборов, вследствие чего возникает необходимость в дополнительных регулировках и подборе сопротивлений резисторов в цепях смещения. В некоторых случаях может потребоваться даже индивидуальный подбор экземпляра транзистора с заданными характеристиками, специально оговариваемыми в тексте книги.

Отзывы о книге просим направлять по адресу: 101000, Москва, Главный почтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

1* Зак 616

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

РЕГУЛИРУЕМЫЕ КАСКАДЫ

Обязательной и неотъемлемой частью современных усилителей низкой частоты (УНЧ) являются плавные и ступенчатые регуляторы громкости и тембра звучания В зарубежной радиолюбительской литературе опубликовано большое число схем каскадов транзисторных УНЧ, предназначенных для регулировки и коррекции параметров усилителей Некоторые из этих схем хорошо известны советским радиолюбителям В данном параграфе описываются каскады, позволяющие получать оптимальные результаты при регулировке громкости и тембра звучания усилителей низкой частоты

Регулятор громкости с тонкоррекцией. Многие радиолюбители считают, что регулятор громкости — самое простое и несложное устройство УНЧ, хотя на самом деле это не так Сложность заключается в том, что ухо человека обладает нелинейной чувствительностью к различным частотам звукового спектра при различных уровнях громкости. Причем по мере уменьшения громкости звучания различие в чувствительности уха на различных частотах возрастает Поэтому при регулировке громкости для сохранения естественности звучания фонограммы необходимо одновременно с уменьшением общей громкости звучания несколько замедлять подавление нижних и верхних частот Обычные регуляторы громкости с переменным резистором равномерно ослабляют все частоты звукового спектра, а поэтому не могут обеспечить высокую точность воспроизведения С этой задачей справляются специальные регуляторы громкости с тонкомпенсацией

На рис. 1 приведена принципиальная схема простого регулятора громкости с тонкомпенсацией способного сохранить естественность звучания исходной фонограммы при регулировке громкости в диапазоне 40 дБ. Основой регулятора громкости по схеме рис 1 является эмиттерный повторитель на транзисторе *T1*. Резисторы *R1* и *R2* образуют делитель напряжения смещения в цепи базы, а резистор *R3* является нагрузкой каскада в эмиттерной цепи транзистора *T1*. Особенностью работы каскада является то, что выходное напряжение снимается с движка переменного резистора *R3* через переходный конденсатор *C2* и непосредственно с эмиттера транзистора *T1* через переменный резистор *R4* и дроссель *L1*.

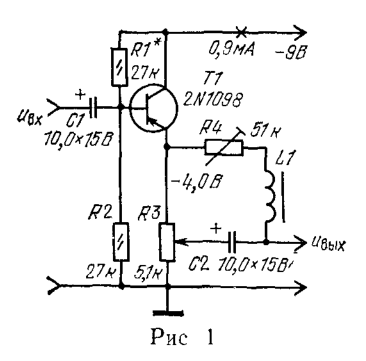


Рис 1

При перемещении движка переменного резистора *R3* вниз (по схеме) происходит равномерное уменьшение напряжения сигнала на выходе по всем частотам сигнала. В то же время через переменный резистор *R4* и дроссель *L1* поступают сигналы, ослабление которых зависит от частоты. В результате совместного прохождения сигнала по двум ветвям на выходе каскада ослабление частот сигнала будет неравномерным На рис. 2 приведена амплитудно-частотная характеристика каскада при различных значениях ослабления сигнала на средних частотах (0, —20, —40 дБ) в зависимости от частоты сигнала при среднем положении движка переменного резистора *R4*. Как видно из рис. 2, амплитудно-частотная характеристика регулятора громкости близка к требуемой Регулировкой переменного резистора *R4* можно добиваться большего или мень-

шего ослабления нижних частот, т. е. осуществлять регулировку тембра в области нижних частот.

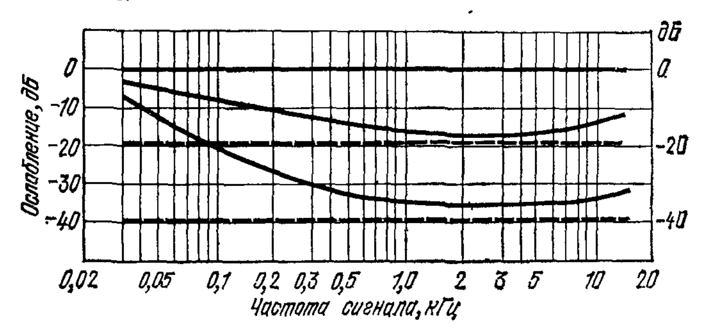


Рис 2

При повторении конструкции регулятора громкости по схеме рис. 1 можно использовать отечественные малошумящие транзисторы, например, типов П27, П28, МП39Б, ГТ108Г и др. В качестве дросселя *L1* можно использовать первичную обмотку от согласующего трансформатора для транзисторного приемника (карманного или портативного). Переменный резистор *R3* должен быть группы В, например, типа СП3-3в или СП3-4в, резистор *R4* — группы А тех же типов. Электролитнческне конденсаторы типа К50-6 или К50-3. Налаживаиие сводится к подбору сопротивления резистора *R1*, при котором постоянное напряжение на эмиттере транзистора *T1* будет близко к —4 В относительно общего провода. Питание каскада может быть осуществлено от батареи или стабилизированного выпрямителя.

Избирательный усилитель. Основные каскады обычных УНЧ имеют равномерное усилеиие во всей полосе усиливаемых частот. Но в ряде случаев возникает необходимость подъема относительного усиления каскада на определенных частотах. Например, при воспроизведении фонограмм танцевальных ритмов для озвучивания помещения танцевального зала или дискотеки требуется дополнительный подъем нижних частот. Для улучшения разборчивости сольного пения в сопровождении инструментальной группы необходимо поднять усиление микрофона на средних частотах. Относительный подъем высших частот может потребоваться при воспроизведении сольного номера на скрипке или небольших духовых инструментах. В какой-то степени это могут сделать регуляторы тембра, о которых в дальнейшем пойдет речь, но все же лучшие результаты достигаются в случае применения на входе основного УНЧ специального избирательного каскада, подчеркивающего частоты в определенной полосе спектра.

На рис. 3 приведена принципиальная схема избирательного УНЧ всего из одном двухзатворном полевом транзисторе МОП-структуры Входной сигнал подается на унифицированный разъем *Гн1*, аналогичный отечественному разъему СГ-3, а выходной сигнал снимается с гнезда *Гн2* аналогичной конструкции. Избирательные свойства каскада обусловлены применением в цепи отрицательной обратной связи двойного Т-образного моста, состоящего из резисторов *R6*—*R8* и конденсаторов *С3*, *С4*, *С6*. Средняя частота каскада может плавно регулироваться в некоторых пределах переменным резистором *R6*, полоса усиливаемых частот — переменным резистором *R5*. Для перестройки каскада в широкой полосе частот необходимо изменить емкости конденсаторов *С3*, *С4*, *С6* в соответствии с данными табл 1.

При повторении конструкции каскада по схеме рис. 3 можно использовать отечественные МОП-транзисторы с двумя затворами типов КП306 и КП350 с любыми буквенными индексами Налаживание каскада сводится к подбору сопротивления резистора *R1*, при котором постоянное напряжение на истоке транзистора *T1* будет равно +5 В относительно общего провода.

Высокоэффективный регулятор тембра. Обычно в УНЧ широко применяют раздельные регуляторы тембра на нижних и верхних частотах по схеме Баксаидала (названа в честь английского инженера, разработавшего схему в 1952 г.).

Глубина регулировки схемы Баксандала лежит в пределах ±10—12 дБ на самых нижних и высших регулируемых частотах с неизменным уровнем частот вблизи 1 кГц. В ряде случаев для повышения эффекта от регулировки тембра требуется увеличить глубину регулировки до ±20 дБ.

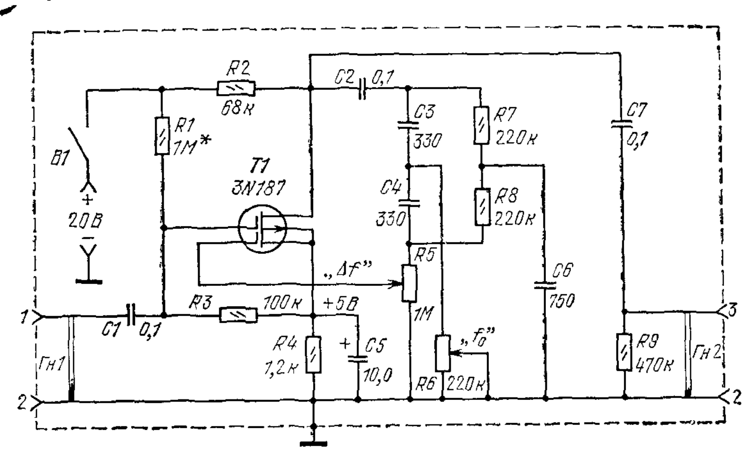


Рис. 3

Таблица 1

Частота, Гц	*C3, C4*, пФ	*C6*, пФ	Частота, Гц	*C3, C4*, пФ	*C6*, пФ
40	22 000	47 000	1 200	680	1 500
75	12 000	27 000	2 400	330	750
150	5 600	12 000	4 800	160	360
300	2 700	6 200	9 600	82	180
600	1 300	3 000			

На рис. 4 приведена принципиальная схема простого регулятора тембра с расширенной глубиной регулировки до ±20 дБ. Характерной особенностью схемы является то, что обе регулировки нижних и верхних частот включены в цепь отрицательной обратной связи усилительного каскада на транзисторе *Т1*. Входной сигнал подается на гнездо *Гн1*, а выходной снимается с гнезда *Гн2*. Отрицательная обратная связь обеспечивается соединением коллектора транзистора *Т1* с резистором *R6* через конденсатор *С5*. Регулировка тембра нижних частот

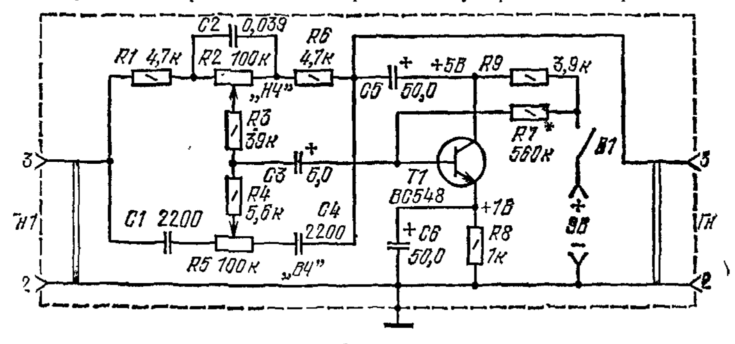


Рис 4

производится переменным резистором $R2$ «НЧ», верхних — перемеиным резистором $R5$ «ВЧ» Понятия нижние и верхние относятся к частотам ниже и выше 1 кГц соответственно.

Для повторения конструкции можно использовать малошумящие транзисторы типа КТ315В или КТ315Г с коэффициентом передачи по току $h_{21э}=100$ и более. Режим работы по постоянному току может быть скорректирован подбором сопротивления резистора $R7$. Переменные резисторы $R2$ и $R5$ должны быть группы А, например, типов СП3-3, СП3-4 или СП3-22, СП3-23 (движковые) Желательна экранировка каскада с помощью металлического экрана.

МНОГОПОЛОСНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ТЕМБРА

Двухполосные регуляторы по схеме Баксандала не позволяют выделять или подавлять узкую полосу частот. Так, если необходимо поднять усиление на частоте 3 кГц на 4 дБ, то усиление на частоте 9 кГц возрастет примерно на 10 дБ. В этом отношении значительно большие возможности у многополосных регуляторов тембра, построенных по принципу разделения всей полосы пропускаемых частот на несколько (от четырех до 30) полос, последовательном и соответствующем их усилении или ослаблении со сложением на выходе. За рубежом такие многополюсные регуляторы тембра называются эквалайзерами, т. е. выравнивателями частотной характеристики электроакустической установки, в состав которой входит усилитель низкой частоты с регулятором тембра. На страницах зарубежных журналов описано большое число эквалайзеров разной степени сложности. Здесь рассмотрим наиболее простые по конструкции схемы многополосных регуляторов тембра на пассивных (RC) элементах и с использованием интегральных микросхем.

Пятиполосный регулятор тембра на пассивных элементах. На рис. 5 приведена принципиальная схема простого пятиполосного регулятора тембра, в ко-

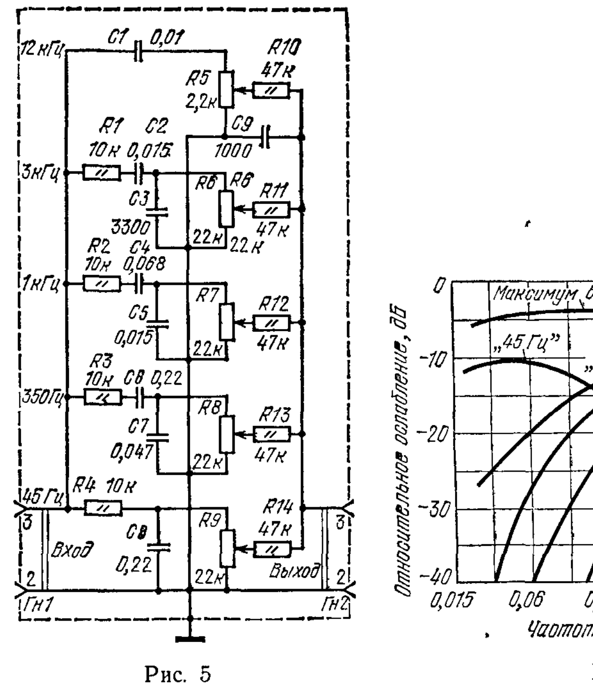


Рис. 5

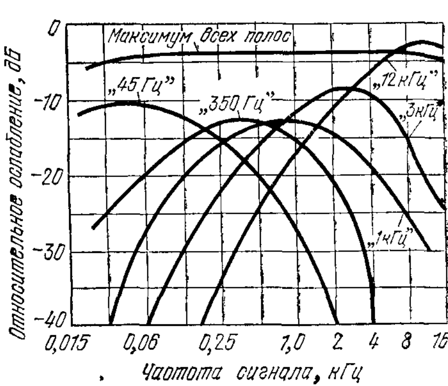


Рис 6

тором нет ни одного усилительного прибора. Выполнен он на резисторах и конденсаторах Входной сигнал подается к гнезду *Гн1*, аналогичному отечественному гнезду типа СГ-3, и далее разделяется с помощью полосовых *RC*-фильтров со средними частотами, указанными на схеме рис. 5: 45, 350 Гц, 1, 3, 12 кГц. Каждый фильтр имеет собственный регулятор уровня (соответственно переменные резисторы *R9*, *R8*, *R7*, *R6*, *R5*), с движков которых через развязывающие резисторы (соответственно *R14*, *R13*, *R12*, *R11*, *R10*) снимается напряжение соответствующих сигналов, подаваемое далее на выход к контактам гнезда *Гн2*. Меняя положение движков, можно либо полностью пропускать, либо в желаемой степени ослаблять те или иные полосы частот усиливаемого сигнала.

На рис. 6 приведены амплитудно-частотные характеристики регулятора тембра (по схеме рис. 5) при различных положениях потенциометров. Верхняя ровная кривая соответствует максимальной передаче всех полос. Как видно из рис. 6, при этом ослабление выходного сигнала по сравнению с входным составляет около 3 дБ (в 2 раза по мощности или в 1,4 раза по напряжению). Это ослабление сигнала является характерным для регуляторов тембра на пассивных элементах. Проходящие ниже кривые соответствуют максимальной передаче только одной полосы при выключении (уменьшении до нуля) передачи по всем остальным полосам. Нетрудно заметить, что наблюдается значительная неравномерность в пропускании различных полос, что может быть оправдано при стремлении упростить конструкцию регулятора тембра.

При повторении конструкции можно использовать детали отечественного производства, в том числе ползунковые потенциометры типа СП3-22б группы А. Постоянные резисторы могут быть типов МЛТ-0,25 или ВС-0,25, МЛТ-0,5; конденсаторы — бумажные или керамические, желательно с разбросом не более ±10%. Гнезда *Гн1* и *Гн2* типа СГ-3. Во избежание нежелательных наводок и помех детали регулятора тембра необходимо поместить в электрический экран, например корпус из стали или дюралюминия.

При использовании регулятора тембра по схеме рис. 5 следует учитывать ослабление сигнала, которое он вносит. Поэтому регулятор целесообразно включать после дополнительного усилительного каскада. Входное сопротивление регулятора тембра около 2,5 кОм, выходное — 10 кОм.

Пятиполосный регулятор тембра на интегральной микросхеме. Несмотря на свою простоту регуляторы тембра на пассивных элементах не получили широкого распространения. Значительно большее число многополосных регуляторов выполняют с использованием усилительных приборов — транзисторов и линейных микросхем, например операционных усилителей. Такие регуляторы не только обеспечивают частотную коррекцию сигнала, но и дают некоторое усиление его.

На рис. 7 приведена принципиальная схема регулятора тембра, в которой

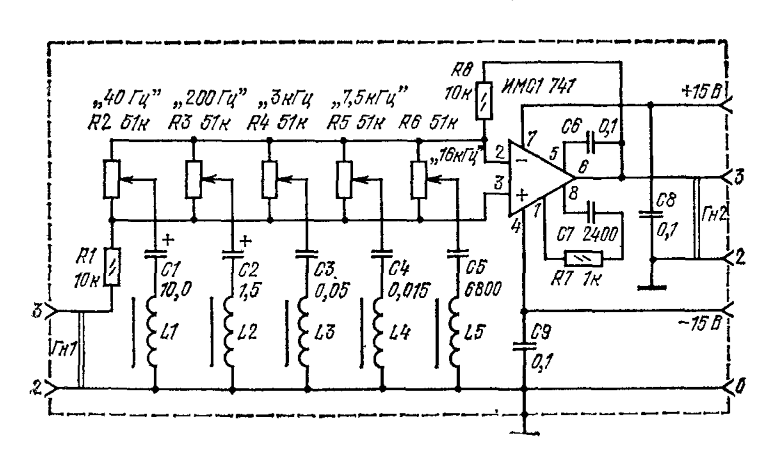
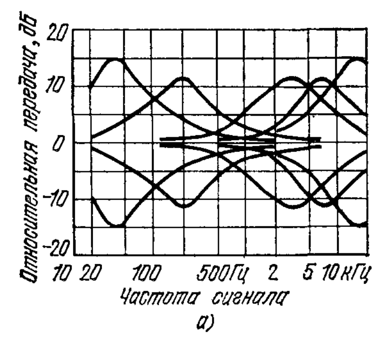


Рис. 7

использовано пять последовательных резонансных контуров, настроенных на средние частоты пяти полос регулятора; 40 Гц, 200 Гц, 3 кГц, 7,5 кГц, 16 кГц. Эти контуры подключены к движкам переменных резисторов *R2—R6*, которые включены между инвертирующим и неинвертирующим входами операционного усилителя на интегральной микросхеме *ИМС1* типа 741. Входной сигнал через гнездо *Гн1* подается на неинвертирующий вход усилителя через резистор *R1*, а на инвертирующий — через переменные резисторы. В зависимости от положения движка каждого переменного резистора влияние соответствующего резонансного контура может приводить либо к усилению сигнала в данной полосе, либо к его ослаблению или сохранению неизменного значения.

На рис. 8 приведены амплитудно-частотная характеристика пятиполосного регулятора тембра на интегральной микросхеме (*а*) и внешний вид размещения движков переменных резисторов на панели усилителя низкой частоты (*б*). При повторении конструкции можно использовать (без каких-либо изменений в схеме) операционный усилитель типа К1УТ531А и ползунковые переменные резисторы типа СП3-22б группы А. При использовании данного регулятора в стереофоническом усилителе необходимо сделать два регулятора, применив в них сдвоенные переменные резисторы движкового типа СП3-23б. Входные и выходные гнезда типа СГ-3 или СГ-5 (для стереоусилителей). Регулятор тембра может быть вмонтирован в корпус УНЧ. В этом случае наличие гнезд необязательно



а)

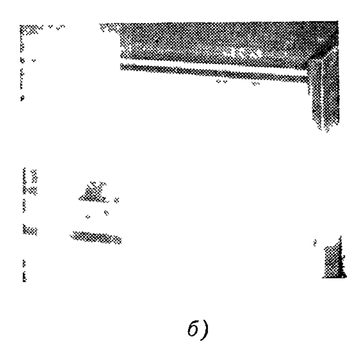

б)

Рис. 8

Для регулятора тембра по схеме рис 7 наиболее важными деталями являются резонансные контуры. При изготовлении данного устройства следует ориентироваться на следующие намоточные данные применительно к ферритовым сердечникам отечественного производства марки М2000НМ кольцевой формы типоразмера К20×12×6. Намотка ведется проводом марки ПЭВ-2 диаметром 0,12 мм. Количество витков должно быть следующим: *L1* — 1400; *L2* — 700; *L3* — 200, *L4* — 150; *L5* — 100. Возможны некоторые отклонения от диаметра провода. После окончания намотки необходимо надежно припаять выводы катушек индуктивности к гибким многожильным проводникам и изолировать обмотку двумя слоями лакоткани во избежание обрыва провода Обязательна проверка катушек индуктивности на внутренний обрыв с помощью омметра, например, типа Ц-20.

Десятиполосный регулятор тембра на интегральных микросхемах. При изготовлении и эксплуатации многоканальных регуляторов тембра с резонансными контурами, используемыми в качестве разделительных фильтров, были обнаружены существенные недостатки этих устройств. Это касается сложности изготовления малогабаритных катушек индуктивности. Кроме того, катушки индуктивности обладают полем рассеяния, вследствие чего наблюдается их взаимное влияние и сказывается действие низкочастотных наводок. От указанных недостатков свободны многополосные регуляторы тембра, выполненные по безындукционной схеме. Основой таких регуляторов являются операционные усилительные каскады, охваченные частотно-зависимой отрицательной обратной связью, создаваемой двойным Т-образным мостом. Число таких каскадов равно

числу частотных полос регулирования тембра. Малые размеры современных операционных усилителей в интегральном исполнении, использование малогабаритных конденсаторов и постоянных резисторов позволяет увеличить число регулируемых полос (до 10—20 и более).

На рис. 9 приведена принципиальная схема десятиполосного регулятора тембра на микросхемах типа 747, описанная в журнале болгарских радиолюбителей. Поскольку все десять полосовых фильтров идентичны и различаются лишь емкостями двух конденсаторов, то на рис. 9 приведены только два фильтра: один со средней частотой 32 Гц, другой — на частоту 16 кГц. Глубина регулирования в полосе каждого фильтра ±12 дБ, входное напряжение до 5 В.

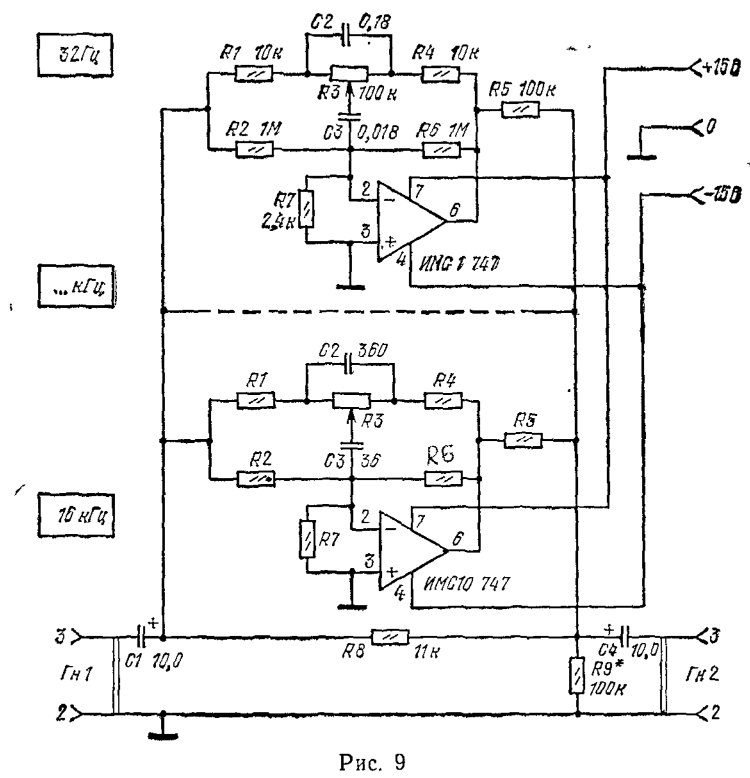


Рис. 9

Входной сигнал, подводимый к гнезду *Гн1*, поступает к выходному гнезду *Гн2* двумя путями: через постоянный резистор *R8*, который одновременно является резистором обратной связи, равномерной по всей полосе пропускаемых частот, и через десять избирательных усилителей, коэффициенты передачи которых регулируются переменными резисторами *R3* во всех полосах. Входное сопротивление устройства около 1 кОм, выходное 5 кОм.

При повторении конструкции регулятора тембра по схеме рис. 9 можно использовать не все десять, а только часть полосовых фильтров, разместив их с интервалом две или три октавы, т. е. число фильтров может быть уменьшено до четырех-пяти. При этом можно пользоваться данными табл 2, в которой приведены емкости конденсаторов *С2, С3*.

В качестве активных элементов рекомендуется применять интегральные микросхемы типа К1УТ531А. Переменные резисторы могут быть типа СП3-22б (одинарные) или СП3-23б (сдвоенные) для стереофонического УНЧ. Все переменные резисторы должны быть группы А. Постоянные конденсаторы и резисторы подбирают с разбросом номинала не более ±10%. При налаживании

глубину регулирования подбирают, изменяя сопротивление резистора *R8*, а выравнивание коэффициента передачи по каждой полосе в отдельности — подбором сопротивления резистора *R6* в каждом полосовом фильтре.

Таблица 2

Частота, Гц	*С2*, пФ	*С3*, пФ	Частота, Гц	*С2*, пФ	*С3*, пФ
32	0,18 мкФ	0,018 мкФ	1 000	5 600	560
64	0,1 мкФ	0,01 мкФ	2 000	2 700	270
125	0,047 мкФ	4 700	4 000	1 500	150
250	0,022 мкФ	2 200	8 000	680	68
500	12 000	1 200	16 000	360	36

КАСКАДЫ, СОЗДАЮЩИЕ ЭФФЕКТ ПРИСУТСТВИЯ

Одним из интереснейших нововведений, применяемых в самых дорогостоящих усилителях низкой частоты за рубежом, является регулятор эффекта присутствия, позволяющий выделить голос солиста на фоне музыкального сопровождения, сделать его более внятным и объемным, создав как бы эффект присутствия солиста рядом со слушателем. Суть эффекта присутствия заключается в соответствующей коррекции амплитудно-частотной характеристики усилителя низкой частоты При этом учитывается, что диапазон изменения частот музыкального сопровождения составляет 9 октав (от 20 Гц до 15 кГц). Этот диапазон перекрывает частоты, на которых звучат все инструменты — от большого басового барабана до маленькой флейты-пикколо. Частоты человеческого голоса занимают центральную часть диапазона, примерно от 2 до 5 кГц. Поэтому для того чтобы выделить голос солиста на фоне музыкального сопровождения, достаточно повысить усиление на частотах от 2 до 5 кГц. По мнению специалистов, для создания эффекта присутствия увеличение усиления должно составить 6—10 дБ. Наиболее просто реализовать эффект присутствия можно в специальном трехполосном электроакустическом устройстве, где имеются три раздельных, независимо регулируемых усилителя нижних, средних и верхних частот. Амплитудно-частотная характеристика усилительного тракта такого устройства приведена на рис. 10. Как видно из рисунка, для создания эффекта присутствия достаточно установить регулятор громкости канала средних частот на 6—10 дБ выше уровня нижних и верхних частот

Хороших результатов можно добиться и при использовании обычного УНЧ, на входе которого стоит многополосный регулятор тембра. Здесь достаточно поднять усиление в полосе частот 3 или 4 кГц на 6—8 дБ относительно остальных частот, чтобы получить амплитудно-частотную характеристику усилительного тракта, близкую к приведенной на рис. 10.

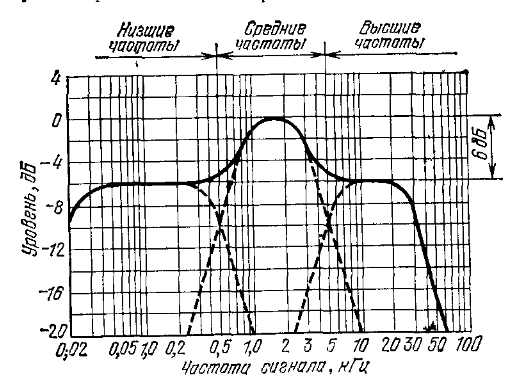


Рис 10

На рис. 11 приведена принципиальная схема (*а*) и представлена амплитудно-частотная характеристика (*б*) приставки, создающей эффект присутствия, собранной на базе каскада по схеме с общим эмиттером, охваченного частотно-зависимой отрицательной обратной связью. По принципу действия данный каскад подобен селективному каскаду по схеме рис. 3 и полосовому фильтру по схеме рис. 9. Глубина регулировки, как видно из рис. 11,*б*, зависит от положения движка переменного резистора *R4*. При крайнем нижнем (по схеме) положении, когда *R4*=0, влияние отрицательной обратной связи очень мало и амплитудно-частотная характеристика практически равномерна по всей полосе пропускаемых частот. По мере подъема движка вверх влияние обратной связи возрастает, подъем усиления на частоте 2 кГц увеличивается. При среднем положении движка подъем составляет около 6 дБ, при полностью введенном движке — до 13 дБ. Частота подъема амплитудно-частотной характеристики выбрана равной 2 кГц.

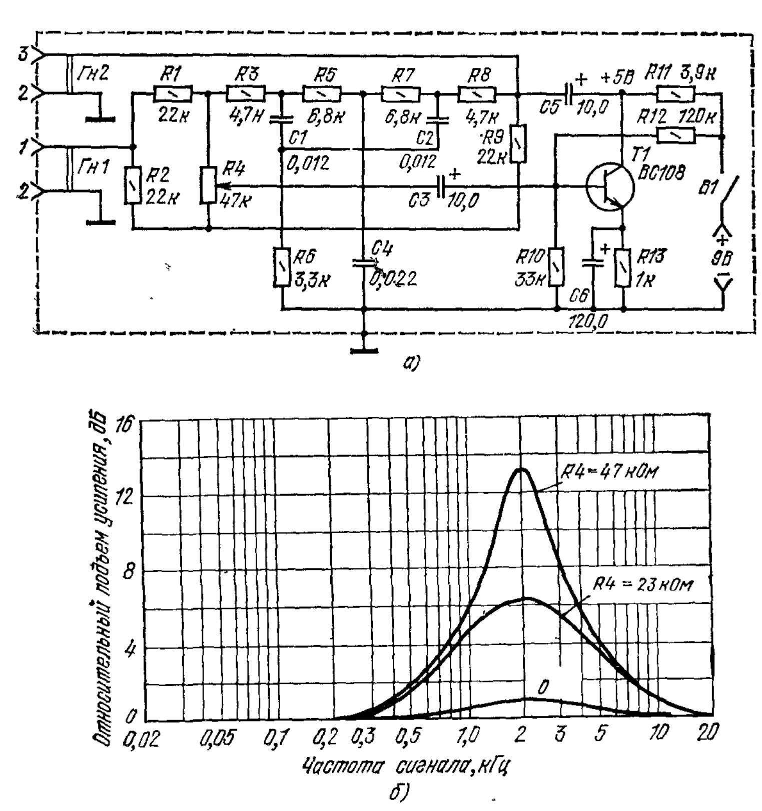


Рис. 11

Ряд других каскадов, создающих эффект присутствия, имеют основную частоту подъема 2,5 и 3,5 кГц. По мнению авторов, различие частот несущественно для создания эффекта присутствия, но может оказаться полезным для подчеркивания мужского и женского голосов в отдельности. Обычно повышение частоты подъема достигается за счет уменьшения емкости конденсаторов *C1* и *C2* до 4700 пФ каждого и *C4* — до 0,015 мкФ.

При повторении конструкции можно использовать малошумящий кремниевый транзистор типа КТ315Б, КТ315Г и КТ312Б. Входное *Гн1* и выходное *Гн2* гнезда типа СГ-3. При применении двух каскадов для стереофонического УНЧ

необходимо использовать гнезда типа СГ-5. Переменный резистор *R4* должен быть группы В, например, типа СП3-3 или СП3-4, СП3-22, СП3-23, сдвоенный или одинарный. Ток, потребляемый каскадом, невелик, около 1 мА, поэтому в качестве источника можно использовать гальваническую батарею «Крона ВЦ».

В каскаде, создающем эффект присутствия (рис. 11,*а*), нужно учитывать его низкое входное сопротивление, равное 15 кОм. Лучше всего, если входной сигнал будет подаваться на *Гн1* с выхода эмиттерного повторителя или регулятора громкости по схеме рис. 1.

Эффект присутствия, созданный с помощью интегральной микросхемы. Каскады, создающие эффект присутствия, собранные на одном транзисторе, имеют существенный недостаток — вносят большие нелинейные искажения сигнала при большом уровне входного напряжения. По этой причине их применяют в относительно несложных конструкциях. В высококачественных усилителях, где высоки требования к искажениям сигнала, находят широкое применение каскады, собранные на интегральной микросхеме. На рис. 12 приведена принципиальная схема такого каскада: на частоте 1 кГц при выходном напряжении 5 В коэффициент гармонических искажений не превышает 0,1%. Эффект присутствия создается подъемом усиления с максимумом на частоте 2,5 кГц, глубина регулировки подъема — до +12 дБ.

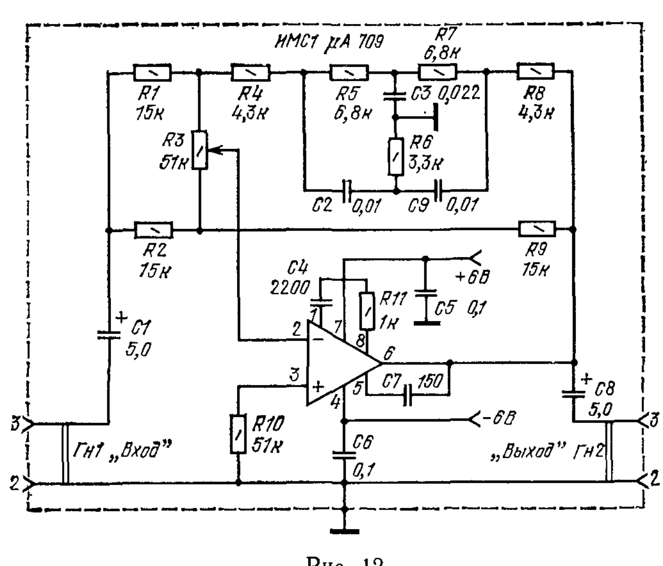


Рис. 12

Как видно из рис. 12, входной сигнал подается к *Гн1*, выходной снимается с *Гн2*, а регулировка уровня производится переменным резистором *R3*. С целью устранения паразитных наводок каскад экранируется.

При повторении конструкции рекомендуется применить интегральную микросхему типа К1УТ531А, увеличив при этом напряжения источников питания до ±9 В. Переменный резистор *R3* должен быть группы В. Амплитудно-частотная характеристика каскада имеет вид, подобный изображенному на рис. 11,*б*, но с максимумом на частоте 2,5 кГц.

Применяя те или иные корректирующие и регулирующие каскады и каскады, создающие эффект присутствия, необходимо помнить, что их эффективность зависит не только от качества изготовления и налаживания каскада, но и от энергетических возможностей усилителя мощности низкой частоты, совместно с которым этот каскад будет работать. Практика повторения описанных выше конструкций показала, что все они дают заметное улучшение качества воспроизведения звука при совместной работе с усилителями мощности низкой частоты

на 10—20 Вт при коэффициенте нелинейных искажеиий на частоте сигнала 1 кГц не более 1%. Если же мощность усилителя невелика (3—5 Вт) или велики нелинейные искажения (3—5%), то применение всевозможиых каскадов малоэффективно. Поэтому создание высококачественной усилительиой аппаратуры нельзя ограничивать только применением разного рода вспомогательных каскадов, но следует также дополнять изготовлением усилителей мощности с высокими характеристиками О том, какие пути решения этой проблемы наметились в любительских усилителях мощиости низкой частоты, пойдет речь в следующем параграфе.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Согласно международным требованиям, предъявляемым к высококачественным усилителям мощности низкой частоты, предназначенным для использования в бытовых условиях, они должны развивать максимальную выходную мощность 10—20 Вт при коэффициенте гармоник в полосе частот от 30 Гц до 20 кГц не более 0,1%. Как правило, любительские конструкции высококачественных усилителей низкой частоты, выполненные на доступных биполярных транзисторах или лампах, имеют в лучшем случае коэффициент гармоник не менее 0,5—1% Одной из причин столь больших нелинейных искажений является то, что оконечные каскады усилителей работают в экономичном режиме класса АВ или В Недостатком указанных режимов работы является необходимость подбора пар транзисторов и ламп с идентичными параметрами, а ведь именно это труднее всего сделать в любительских условиях Для подбора пар транзисторов, обеспечивающих коэффициент гармоник не более 0,1%, необходимо иметь специальные измерительные приборы и большое число однотипных транзисторов, из которых производится отбор.

За последние годы высококачественные усилители низкой частоты стали неотъемлемой частью профессиональной и любительской сцены. Теперь даже трудно себе представить выступление солистов, хора и музыкальных групп без звукоусилительиой аппаратуры или электромузыкальных инструментов. Причем для подобных целей требуются усилители с выходной мощностью от 50 до 250 Вт при коэффициенте гармонических искажений не более 1%.

Ультралинейиый усилитель класса А. Давно известен способ уменьшения коэффициеита гармонических искажений УНЧ до 0,5—0,1%, заключающийся в том, что оконечный каскад переводится в режим работы класса А при всех значениях напряжения входного сигнала. Недостатками такого пути создания сверхлинейных усилителей являются низкий коэффициент полезного действия усилителей класса А и высокий уровень мощности, рассеиваемой оконечными транзисторами, особенно при работе на малых сигналах Но при использовании современных транзисторов большой мощности, снабженных надежными теплоотводами, по крайней мере второй из этих недостатков становится несущественным.

Усилители мощности класса А имеют и преимущества перед аналогичными усилителями класса АВ и В, которые заключаются в простоте конструкции, а также в постоянстве среднего значения потребляемого тока, что снижает уровень дополнительных гармонических искажений, обусловленных резкими изменениями потребляемого тока при изменениях уровня усиливаемого сигнала. У стереофоиических усилителей фирмы «Пайонир» (США) оконечные каскады выполнены по схеме, работающей в режиме класса А и обеспечивающей выходную мощность 160 Вт при коэффициенте гармонических искажений не более 0,01%.

На рис. 13 приведена принципиальная схема ультралииейного усилителя мощности низкой частоты, собранного на шести кремниевых транзисторах средней и большой мощности высокой частоты, причем четыре транзистора (*Т1—Т4*) используются непосредственно в усилителе, а два другух — в стабилизированиом выпрямителе источника питания. Характерной особенностью данного усилителя является то, что окоиечные транзисторы *Т3* и *Т4* работают в режиме класса А, т е. при большом начальном токе эмиттеров, составляющем в зависимости от напряжения источика питания и сопротивления иагрузки 1—2 А. Такой режим работы обеспечивает высокую стабильность работы усилителя как при смене транзисторов, так и при измеиении температуры.

Другой особенностью усилителя (рис. 13) является его способность работать с динамическими головками, имеющими различное сопротивление, от 3 до 16 Ом.

При этом для обеспечения минимальных искажений сигнала требуется лишь изменить напряжение источника питания и емкость конденсаторов *С3*, *С5*, *С6*. Значения параметров указанных элементов и режимов работы выпрямителя приведены в табл. 3 и 4.

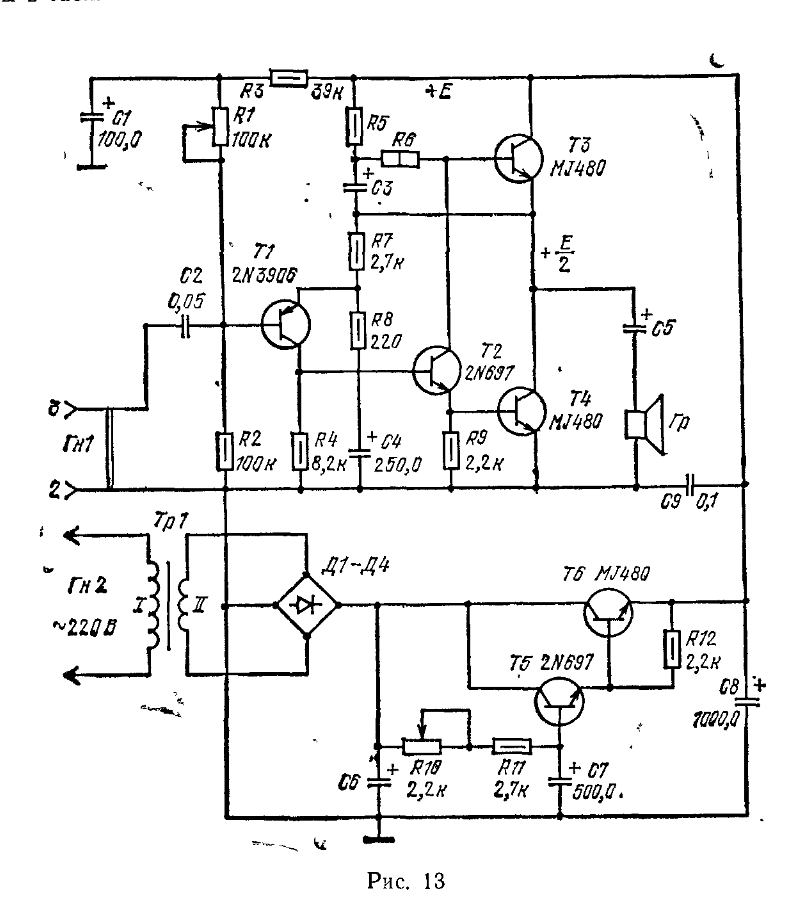


Рис. 13

Таблица 3

Сопротивление нагрузки, Ом	Напряжение питания, В	Ток коллектора *Т3*, А	Сопротивление резистора *R5*, Ом (*R6*, Ом)	Емкость конденсатора *С3*, мкФ	Емкость конденсатора *С5*, мкФ	Входное напряжение сигнала, В
3	18	2,0	47 (180)	500,0×25 В	5000,0×40 В	0,4
8	27	1,2	100 (560)	250,0×40 В	2500,0×40 В	0,65
16	37	0,9	200 (1200)	250,0×40 В	2500,0×40 В	0,9

Таблица 4

Сопротивление нагрузки, Ом	Ток потребления, А	Постоянное напряжение, В	Емкость конденсатора *С6*, мкФ	Обмотка *II*
3	2,1	17	5000,0×30 В	20 В×2,0 А
8	1,25	27	2000,0×40 В	30 В×1,25 А
16	1,0	37	1000,0×50 В	40 В×1,0 А

Наладить усилитель несложно Сначала переменным резистором *R10* устанавливается выходное напряжение стабилизированного выпрямителя, равное указанному в табл 4 значению Затем переменным резистором *R1* добиваются того, чтобы постоянное напряжение на эмиттере транзистора *Т3* было равно половине напряжения источника питания с погрешностью до ±0,25 В Далее к входному гнезду *Гн1* подключают источник напряжения сигнала (выход согласующего или корректирующего каскада), к выходу усилителя присоединяют динамическую головку соответствующей мощности (не менее 10 Вт) и прослушивают качество звучания

Как показывает практика повторения данного усилителя в нашей стране и за рубежом, оконечные транзисторы *Т3* и *Т4* могут иметь существенный разброс параметров Так, при произвольном размещении оконечных транзисторов с коэффициентом передачи $h_{21Э}$ от 40 до 140 коэффициент гармонических искажений не превышал 0,4%. Когда разброс параметров транзисторов не превышал 10—20%, коэффициент гармонических искажений был не более 0,05—0,1%.

При изготовлении усилителя могут быть использованы следующие детали и узлы: транзисторы *Т2*, *Т3*, *Т4*, *Т6* типа КТ802 или КТ803, КТ805, КТ903 с любыми буквенными индексами; транзистор *Т1* может быть германиевым высоковольтным, например, типа МП20 или МП21, МП41А; транзистор *Т5* типа КТ801 или КТ602А. Электролитические конденсаторы типа К50-6 или К50-3, ЭГЦ. Постоянные резисторы типа МЛТ-0,5 или МЛТ-1. Переменные резисторы *R1* и *R10* типа СП, СПО или СП3-4б группы А Трансформатор *Тр1* должен быть рассчитан на мощность не менее 40—50 Вт. Транзисторы *Т2*, *Т3*, *Т4* и *Т6* должны иметь эффективные теплоотводы, например, пластинчатой формы размерами 3×100×100 мм каждый Для транзисторов *Т2* и *Т5* размеры пластин можно уменьшить до 2×60×60 мм.

Недостатком данного каскада является склонность усилителя к самовозбуждению на высоких частотах (вплоть до нескольких мегагерц). Основная причина самовозбуждения, как показал анализ, заключается в чрезмерно широкой полосе пропускания усилителя, равной 1 МГц. Поэтому из-за паразитных связей между выходом и входом усилителя и возникает самовозбуждение Для подавления такого самовозбуждения усилителя предлагается подключать параллельно выходу усилителя в непосредственной близости от эмиттера транзистора *Т3* и коллектора транзистора *Т4* корректирующую цепочку, состоящую из последовательно соединенных постоянного резистора сопротивлением 8—10 Ом на мощность 3—5 Вт и керамического конденсатора емкостью 0,01 мкФ

Для реализации больших возможностей данного ультралинейного усилителя необходимо, чтобы предварительные каскады, предшествующие ему, также имели небольшой коэффициент гармонических искажений — не более 0,03—0,05%

Усилитель мощности на 20 Вт. Усилитель мощности НЧ класса А потребляет от источника питания мощность, примерно вдвое большую максимальной выходной мощности, независимо от уровня входного сигнала Например, описанный выше ультралинейный усилитель потребляет примерно 22 Вт как при отсутствии сигнала, так и при работе с максимальной мощностью Только в первом случае практически вся потребляемая мощность рассеивается оконечными транзисторами, а во втором 10 Вт поступают в нагрузку, т е в громкоговоритель, а остальные 12 Вт рассеиваются транзисторами *Т2*—*Т4*. Очевидно, что для усилителя мощности класса А на 50, 100 и 200 Вт потребляемая мощность должна быть не менее 100, 200 и 400 Вт соответственно. В случае стереофонического варианта

потребляемая мощность удваивается, т е сотни ватт электроэнергии обращаются в тепло, а подобные усилители становятся как бы электрокаминами

Таким образом, увеличение максимальной выходной мощности возможно лишь при использовании усилителей мощности, работающих в режиме класса В или АВ При этом для уменьшения коэффициента гармонических искажений требуются специальные каскады предварительного усиления и инверсии фазы сигнала, а также глубокие отрицательные обратные связи Принципиальная схема усилителя мощности низкой частоты на 20 Вт приведена на рис 14 Усилитель обеспечивает коэффициент гармонических искажений на частоте 1 кГц до 0,5% при выходной мощности 16 Вт и около 1% при 20 Вт. Напряжение источника питания 30 В, потребляемый ток при отсутствии сигнала 80 мА, при работе с максимальной мощностью 1,1 А Входное сопротивление около 0,5 МОм. Эффективная полоса пропускания от 20 Гц до 60 кГц. Сопротивлеине нагрузки усилителя 4 Ом.

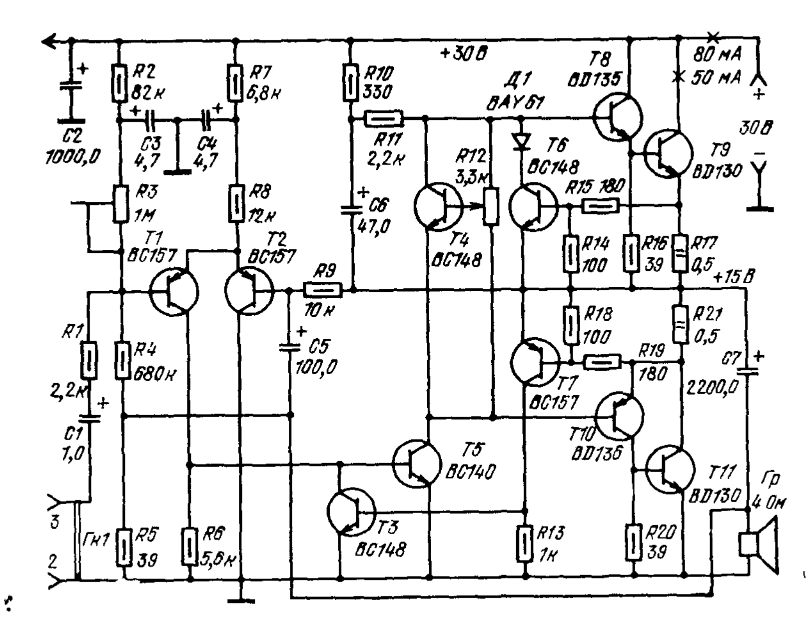


Рис 14

Оконечный каскад усилителя собран по схеме с дополнительной симметрией на транзисторах *Т8—Т11* Начальное смещение на базах транзисторов *Т8* и *Т10* создается специальным транзисторным стабилизатором (*Т4*) С помощью переменного резистора *R12* устанавливается напряжение смещения, при котором ток покоя коллектора транзисторов *Т9* и *Т11* равен 50 мА При таком токе обеспечивается, с одной стороны, малое искажение сигнала при работе с небольшим уровнем громкости, а с другой — достигается экономное питание

Особенностью усилителя (рис 14) является то, что первый усилительный каскад выполнен по дифференциальной схеме на двух транзисторах *Т1* и *Т2*. На базу транзистора *Т1* поступает входной сигнал с гнезда *Гн1* через корректирующую цепь *R1C1*, а на базу транзистора *Т2* подается напряжение отрицательной обратной связи по постоянному и переменному току с выхода усилителя. Наличие глубокой отрицательной обратной связи позволяет жестко стабилизировать режимы работы оконечных транзисторов по постоянному току и значительно уменьшить нелинейные искажения сигнала Предусмотрено устройство защиты транзисторов оконечного каскада от повреждений при случайном коротком замыкании нагрузки

Следует заметить, что недостатком большинства усилителей по схеме с бестрансформаторным выходом является их повышенная чувствительность к короткому замыканию на выходе. Достаточно даже кратковременного замыкания выходной цепи, чтобы вышли из строя сразу несколько транзисторов. В сложных усилителях обычно применяются специальные быстродействующие предохранители электронного типа. В данном усилителе схема защиты содержит два транзистора *Т6* и *Т7*, резисторы *R14—R21*. Управляющие напряжения для работы схемы защиты снимаются с низкоомных резисторов *R17* и *R21*, по которым протекают выходные токи транзисторов *Т9* и *Т11*. При нормальной работе, когда ток, потребляемый усилителем, не превышает 1,2 А, постоянного напряжения на резисторах *R17* и *R21* недостаточно для открывания транзисторов *Т6* и *Т7*, оба они закрыты, поэтому на работу оконечного каскада практически не влияют.

В случае резкого возрастания выходного тока транзисторов *Т9*, *Т11* постоянное напряжение на резисторах *R17* и *R21* достигает значения, при котором транзисторы *Т6* и *Т7* открываются и своими коллекторными цепями начинают сильно шунтировать базовые цепи транзисторов *Т8* и *Т10*, уменьшая напряжение переменного и постоянного тока. В результате ток транзисторов *Т9* и *Т11* уменьшается до допустимого предела и выход из строя транзисторов предотвращается. При восстановлении нормального режима работы усилителя транзисторы *Т6* и *Т7* автоматически закрываются.

При повторении конструкции можно использовать отечественные транзисторы типа ГТ404В или ГТ404Г (*Т1*, *Т2*, *Т10*), КТ602Б (*Т3*, *Т5*, *Т8*), КТ315 или КТ312 с любым буквенным индексом (*Т4*), МП112, МП113 (*Т6*), МП115 или МП116 (*Т7*), КТ802, КТ803, КТ805, КТ902, КТ903 с любыми буквенными индексами (*Т9, Т11*). Диод *Д1* может быть типа Д226А. Электролитические конденсаторы должны быть на рабочее напряжение 40—50 В. Переменные резисторы *R3* и *R12* группы А.

Наладить собранный усилитель несложно. Проверяется правильность монтажа и подключения источника питания. Затем включается питание и переменным резистором *R12* добиваются того, чтобы коллекторный ток транзистора *Т9* был 50 мА. Далее переменным резистором *R3* добиваются того, чтобы постоянное напряжение на выходе усилителя было равно 15 В (относительно общего провода). Затем проверяется работоспособность усилителя при подаче на входное гнездо *Гн1* сигнала.

Следует заметить, что для достижения наилучших результатов необходимо, чтобы транзисторы *Т1*, *Т2* и *Т10* были кремниевые. Поэтому, если имеется возможность использовать кремниевые транзисторы старых выпусков типа П501—П503 (*Т1* и *Т2*) или новейшие транзисторы типа КТ361Д, ее следует использовать.

При повторении описанной конструкции необходимо обеспечить транзисторы *Т9* и *Т11* эффективными теплоотводами на 10—15 Вт рассеиваемой мощности каждый. При использовании электролитических конденсаторов на рабочее напряжение 50 В можно увеличить напряжение питания до 40 В, что даст повышение выходной мощности примерно до 30 Вт. В этом случае напряжение постоянного тока на эмиттере транзистора *Т9* должно быть 20 В, а ток покоя транзисторов *Т9* и *Т11* — 70 мА.

Ультралинейный усилитель мощности на 100 Вт. В 1975 г. на страницах радиолюбительских журналов многих стран появились сообщения о создании мощных ультралинейных усилителей низкой частоты, в которых оконечные каскады выполнены на ...полевых транзисторах. Речь шла о качественно новых усилительных приборах высокой и сверхвысокой частоты — так называемых полевых МОП-транзисторах с вертикальной структурой затвора. Оказалось, что полевые транзисторы большой мощности, разработанные для использования в передатчиках высоких и сверхвысоких частот, могут с успехом работать в усилителях мощности низкой частоты Так, уже первые образцы усилителей с полевыми транзисторами в оконечных каскадах имели выходную мощность до 100 Вт на канал при коэффициенте гармонических искажений не более 0,01%. На средних частотах искажения сигнала были настолько малы, что их трудно было измерить существующими измерительными приборами. Речь идет о коэффициенте гармонических искажений на уровне 0,002—0,003%.

Полевые транзисторы обладают значительно лучшими характеристиками

при усилении сигнала без искажений, но приборы, пригодные для работы в оконечных каскадах, появились лишь в начале 70-х годов.

На рис. 15 приведена принципиальная схема усилителя мощности низкой частоты в полосе частот от 10 Гц до 600 кГц на 100 Вт.

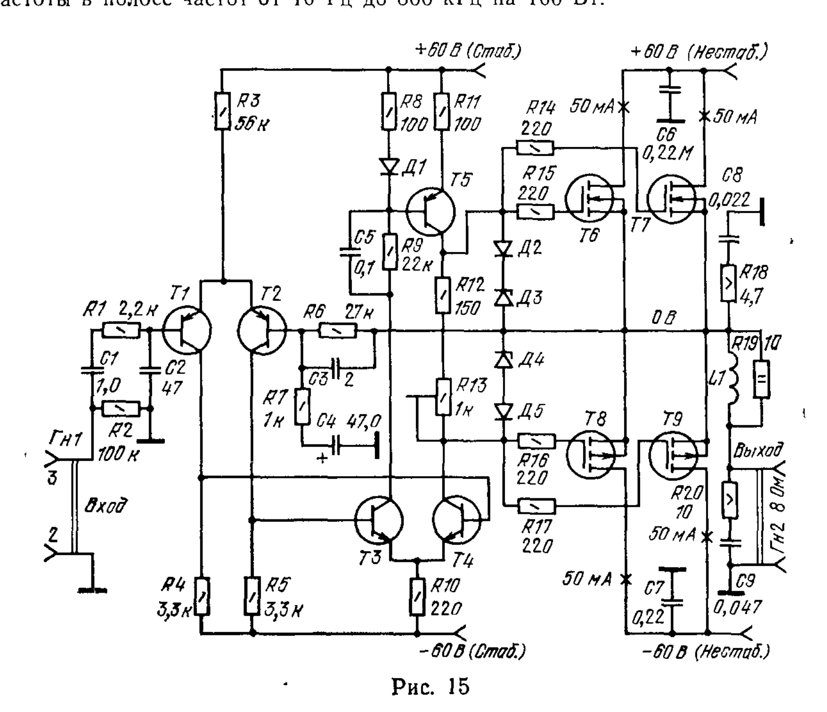


Рис. 15

Как видно из рис. 15, усилитель по своей структуре очень похож на усилитель на рис. 14: входной усилитель по дифференциальной схеме на транзисторах *T1*, *T2* и *T3*, *T4*, каскад предварительного усиления на транзисторе *T5* и оконечный каскад с бестрансформаторным выходом по схеме с дополнительной симметрией на полевых транзисторах (*T6*, *T7* и *T8*, *T9*) с различным типом проводимости канала Начальное смещение на затворах транзисторов *T6*, *T7* и *T8*, *T9*, включенных попарно параллельно, регулируется переменным резистором *R13*. Для защиты затворов полевых транзисторов от больших бросков напряжений, наблюдаемых при включении и выключении усилителя при работе с перегрузкой, применены дополнительные диоды *Д2—Д5*. Для уменьшения влияния разброса входных характеристик полевых транзисторов на работу усилителя в целом в цепи затворов транзисторов *T6—T9* включены резисторы *R14—R17* по 220 Ом.

Использование попарно включенных транзисторов в оконечном каскаде позволяет при сопротивлении нагрузки 8 Ом получить выходную мощность 100 Вт Если использовать только по одному полевому транзистору и нагрузку с сопротивлением 16 Ом, то выходная мощность составит 50 Вт. В одной из конструкций в оконечном каскаде усилителя на 60 Вт используют шесть полевых транзисторов, включенных параллельно по три. В этом отношении полевые транзисторы имеют большие преимущества перед биполярными, параллельное включение которых затруднительно.

Необходимо отметить две характерные особенности усилителя. Первая заключается в том, что используются четыре источника питания: два нестабилизированных, питающих оконечный каскад, и два стабилизированных для питания предварительных каскадов. Вторая особенность в том, что на выходе усилителя включены три корректирующие цепи· *R18C8*, *R20C9* и *R19*, *L1*. На-

значение *RC*-цепей предотвращать самовозбуждение усилителя на высоких и сверхвысоких частотах. Цепь, состоящая из дросселя *L1*, зашунтированного резистором *R19*, уменьшает гармонические искажения сигнала на частотах выше 3—4 кГц. Оказывается, что при отсутствии этой цепи коэффициент гармонических искажений усилителя на высоких частотах около 0,01%, а с цепью уменьшается до 0,002%. К сожалению, в зарубежной литературе не указаны данные дросселя *L1*, поэтому при повторении конструкции усилителя необходимо подбирать намоточные данные экспериментальным путем.

В усилителе по схеме рис. 15 можно применять только кремниевые высоковольтные транзисторы высокой частоты. Если не стремиться к достижению очень большой выходной мощности и ограничиться пределом в 30—40 Вт, то можно снизить напряжение каждого из четырех источников питания до 40 В и применить отечественные транзисторы: типа КТ626 с любыми буквенными индексами (*T1, T2, T5*), типа КТ602 также с любыми последующими буквенными индексами (*T3, T4*) и полевые транзисторы типа КП904А (*T6, T7*), КП901А (*T8, T9*). Диоды *Д1, Д2, Д5* типа Д220; *Д3* и *Д4* — типа КС156А. Входное гнездо *Гн1* типа СГ-3 или СГ-5.

Налаживание усилителя по схеме рис. 15 с четырьмя источниками питания сводится к установке переменным резистором *R13* такого напряжения смещения на затворах полевых транзисторов, при котором начальный ток стока каждого полевого транзистора составит около 50 мА. При таком начальном токе практически полностью устраняются искажения сигнала вида «ступеньки».

Приступая к работе с полевыми транзисторами, необходимо учитывать их склонность к пробою затвора под действием разряда статического электричества, поэтому требуется соблюдение условий, оговариваемых в инструкции, прилагаемой к транзистору. Следует также учитывать, что полевые транзисторы вообще и мощные в особенности являются приборами нового типа, поэтому их приобретение может быть связано с рядом трудностей.

Остается напомнить, что полевые транзисторы, работающие в оконечных каскадах, так же как и их предшественники биполярные транзисторы, требуют применения эффективных теплоотводов. Правда, у полевых транзисторов есть одно важное преимущество: они не боятся короткого замыкания на выходе. Если такое случится, то происходит повышение температуры канала и уменьшение его тока.

Усилитель мощности на ...250 Вт. Транзисторы широкого применения большой мощности, например, типа КТ903 и КТ812 с различными буквенными индексами могут обеспечить выходную мощность бестрансформаторного каскада до 100—120 Вт. Дальнейшее увеличение выходной мощности требует параллельного включения двух или трех однотипных транзисторов или применения принудительного воздушного охлаждения теплоотводов. Все это усложняет конструкцию и эксплуатацию усилителей.

Давно известен способ увеличения выходной мощности усилителей, заключающийся в использовании двух идентичных усилителей мощности, включенных таким образом, что входной сигнал подается на их входы в виде двух колебаний, равных по амплитуде, но противоположных по знаку, а нагрузка включается непосредственно между выходами усилителей. Такие усилители называются балансными мостовыми. В разные годы на страницах радиолюбительских журналов СССР, ГДР, Польши и других стран появлялись описания подобных усилителей, правда, на мощность не более 10 Вт.

На рис. 16 приведена принципиальная схема балансного мостового усилителя мощности низкой частоты на 250 Вт при коэффициенте гармонических искажений около 2% в полосе частот от 30 Гц до 16 кГц. Основой конструкции являются два идентичных усилителя низкой частоты (*А* и *Б*), собранные на биполярных кремниевых транзисторах по схеме, аналогичной схеме усилителя на рис. 14. Устройство защиты оконечных транзисторов и дифференциальный входной каскад отсутствуют. Изменение фазы входного сигнала, поступающего к гнезду *Гн1*, производится с помощью фазоинвертора на транзисторе *T8*, собранного по схеме с разделенной нагрузкой. Коэффициент передачи такого каскада для коллекторной нагрузки равен —1, для эмиттерной +1. Это значит, что напряжения сигнала, подаваемые с выходов каскада на транзисторе *T8*, равны по амплитуде, но противоположны по знаку, что и требуется для нормальной работы усилителя по мостовой схеме. Источник питания (общий для

усилителей *А* и *Б*) выполнен по двухполупериодной схеме на понижающем трансформаторе *Тр1* и двух диодах *Д1*, *Д2*. Фильтрующая цепь состоит из трех электролитических конденсаторов 2500, 0×100 В, включенных параллельно. Сопротивление нагрузки 12—15 Ом. Нагрузка включается непосредственно между

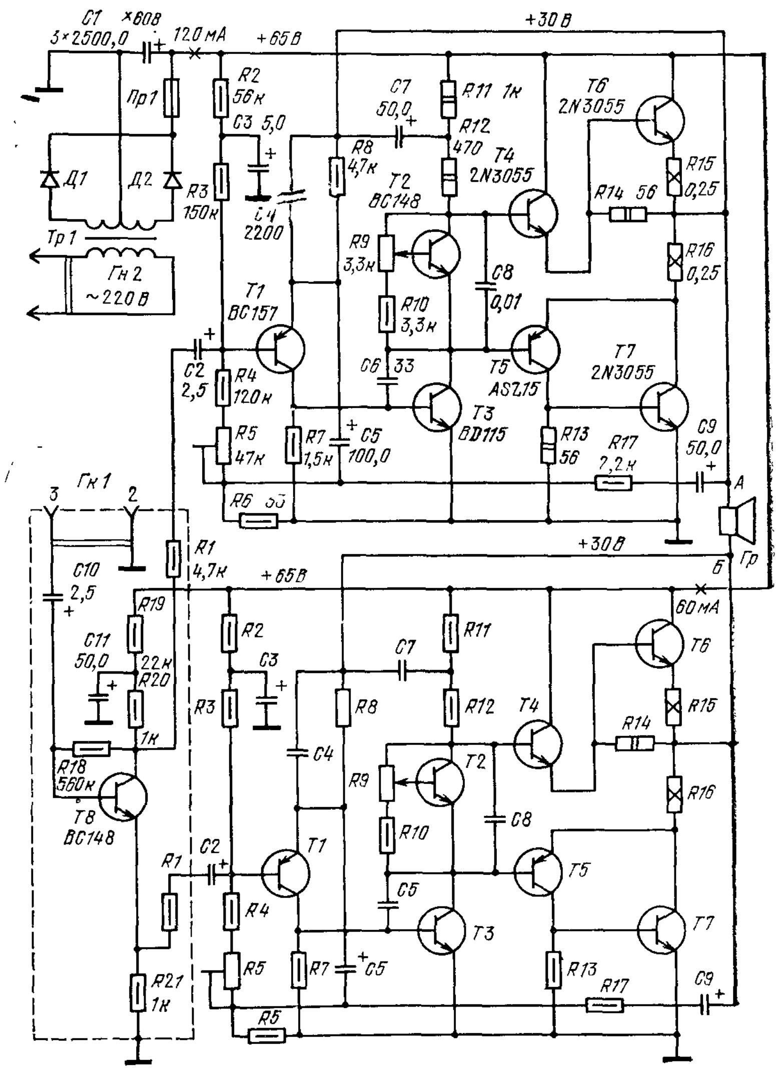


Рис. 16

выходами обоих усилителей. Повторение конструкции возможно при использовании отечественных кремниевых высоковольтных транзисторов типа КТ626В (*T1*), КТ801А (*T3*), КТ312А (*T2*), КТ802А (*T4*), КТ903А (*T6*, *T7*), КТ626В (*T5*). Диоды *Д1* и *Д2* должны быть рассчитаны на ток до 10 А, например, типа Д242Б. Все электролитические конденсаторы, кроме *C1*, могут быть на рабочее напряжение 60 В. Трансформатор *Тр1* имеет сердечник Ш50×70. Первичная обмотка содержит 218 витков провода ПЭВ-2 диаметром 1,1 мм, вто-

ричная — 120 витков с отводом от середины, проводом ПЭВ-2 диаметром 1,9 мм.

Для обеспечения нормальной работы усилителя транзисторы *Т3—Т7* должны иметь эффективные теплоотводы. Можно применить простейшие пластинчатые теплоотводы из листового черненого дуралюминия. Размеры теплоотводов, как указано в первоисточниках, должны быть следующими: для транзисторов *Т6* и *Т7* — 3×160×160 мм; для транзисторов *Т4* и *Т5* — 2×60×60 мм; для транзистора *Т2* — 2×15×15 мм. Если в качестве *Т2* применить транзистор КТ602А, то дополнительного теплоотвода не потребуется

Налаживание собранного усилителя начинают с проверки монтажа и соединений. Затем включают питание и устанавливают режимы работы каждого из каналов усилителя в отдельности при отключенном сигнале и нагрузке. Сначала переменным резистором *R9* устанавливают ток, потребляемый каналом *Б*, равный 60 мА. Далее переменным резистором *R5* добиваются того, чтобы постоянное напряжение на выходе канала *Б* было 30 В. Потом аналогичные операции производят с каналом *А*.

Затем включают нагрузку и замеряют постоянное напряжение на ней. Допускается, чтобы это напряжение было не более ±0,3 В. В противном случае переменным резистором *R5* каналов *А* и *Б* вновь производят коррекцию так, чтобы постоянное напряжение на нагрузке вошло в норму. И только после этого можно испытывать усилитель с источником сигнала.

Конечно, в большинстве случаев любительской практики выходная мощность 250 Вт не требуется. Но описанный выше принцип построения балансных мостовых усилителей мощности низкой частоты может оказаться полезным при создании усилителей меньшей мощности (на 40—50 Вт) на базе двух усилителей малой мощности. Необходимо только, чтобы оба исходных усилителя были одного типа, имели одинаковые характеристики, а источник питания позволял получать требуемую мощность. В среднем можно считать, что мощность выпрямителя и трансформатора должна быть по крайней мере вдвое больше максимальной выходной мощности усилителя в целом.

В заключение необходимо указать, что качество работы любого усилителя мощности низкой частоты во многом зависит от источника усиливаемого сигнала, предшествующих регулирующих и корректирующих каскадов, от самой электроакустической установки, в которой используется данный усилитель, а также от мощности, входного сопротивления и качества работы громкоговорителя (или громкоговорителей, если их несколько).

О том, как улучшить работу электроакустической установки, сделать эффективным громкоговоритель, пойдет речь дальше.

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

МОНОФОНИЯ, СТЕРЕОФОНИЯ, ТРИОФОНИЯ, КВАДРАФОНИЯ, ПЕНТАФОНИЯ, ГЕКСАФОНИЯ, ..., АМБИОФОНИЯ

Все перечисленные выше названия относятся к акустическим и электроакустическим установкам и указывают на число независимых сигналов, которые используются для создания необходимого акустического эффекта. Монофонические системы используют один сигнал; стереофонические — два сигнала. Для квадрафонических установок необходимо четыре сигнала. Менее известны другие установки: триофонические, рассчитанные на применение трех независимых сигналов, пентафонические — пяти, гексафонические — шести и т. д. Под амбиофоническими понимают такие системы, в которых число каналов и сигналов столь велико, что у слушателя возникает представление о том, что звук поступает со всех сторон, как бы из окружающего пространства.

Амбиофония — это очень близкое к натуральному воспроизведение звука с помощью современных многоканальных и многополосных электроакустических установок. Такими установками оборудуются большие зрительные залы, современные киноконцертные помещения. Количество динамических головок различной мощности и полосы воспроизводимых частот в амбиофонических установках, которые правильнее назвать системами, может достигать нескольких тысяч.

Звучание, близкое к амбиофоническому, дает гексафония и отчасти пентафония. Такие установки применяют при показе широкоформатных, круговых и полиэкранных фильмов. Они тоже не совсем подходят для любительского творчества.

Монофония освоена радиолюбителями еще в начале 20-х годов. Стереофония осваивается с 50-х годов. Квадрафония стала распространяться в 70-х годах. Триофония не привилась ни в профессинальной, ни в любительской аппаратуре. Уже первые годы внедрения многоканальных электроакустических систем показали, что наиболее заметное улучшение качества звучания происходит при переходе от моно- к стереофонии. Переход от стерео- к квадрафонии заметен в том случае, когда воспроизведение звука происходит в просторном помещении при вполне определенном размещении громкоговорителей относительно слушателя. Дальнейший переход к пента- и гексафонии почти не различается слушателями.

Нужно отметить, что электроакустические установки, квадрафонические в полном смысле этого слова, являются сложными техническими аппаратами, требующими особого внимания и ухода. Это относится как к источникам квадрафонических сигналов, магнитофонам, электрофонам, грампластинкам и радиоприемникам, так и к усилителям и громкоговорителям. За рубежом было опубликовано несколько описаний различных квадрафонических установок, предназначенных для повторения радиолюбителями, но сложность и дороговизна таких установок не позволяют считать их любительскими.

Исследования ученых, многочисленные опыты и эксперименты радиолюбителей многих стран мира показали, что хорошо разработанная, собранная и налаженная стереофоническая установка может обеспечить лучшее качество звучания, чем посредственная квадрафоническая. Кроме того, если стереофоническую установку снабдить несложными дополнительными приставками и каскадами вместе с дополнительными громкоговорителями, то получается так называемая псевдоквадрафоническая установка, звучание которой лишь немногим уступает квадрафонической. Аналогично этому можно уменьшить различие в качестве звучания монофонических и стереофонических установок, снабдив первые дополнительным громкоговорителем и соответствующей приставкой, дающими псевдостереофонический эффект.

Анализ большого числа публикаций на страницах радиолюбительских журналов многих стран мира показывает, что в основном улучшение качества работы электроакустических систем идет как по пути совершенствования моно- и стереофонических установок, так и по пути применения приставок и дополнительных громкоговорителей, делающих их псевдостереофоническими и псевдоквадрафоническими. Кроме того, уделяется большое внимание совершенствованию самих громкоговорителей.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ КАСКАДЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Практика конструирования и эксплуатации стереофонических установок показала, что для обеспечения высокого качества работы необходимо, чтобы предварительные каскады усиления сигнала вносили как можно меньшие искажения, балансировка усиления в обоих каналах производилась точно и по возможности в более широкой полосе пропускаемых частот, а переходные помехи между каналами были незначительными. К сожалению, большинство конструкций любительских стереофонических установок не удовлетворяют этим требованиям. Ниже даны описания несложных каскадов, с помощью которых можно устранить указанные недостатки.

Ультралинейный предварительный каскад усиления. На рис. 17 приведена принципиальная схема ультралинейного каскада предварительного усиления правого канала стереофонического усилителя низкой частоты. Несомненным достоинством каскада является то, что при напряжении сигнала на его выходе, равном 6 В, коэффициент гармонических искажений на частотах от 40 Гц до 20 кГц не превышает 0,01%. Это достигается за счет принятия ряда мер: повышения напряжения питания до 20 В (обычно оно равно 9—12 В), применения малошумящих и высокочастотных транзисторов (BC239, BC549), а также в

результате введения отрицательных обратных связей, подавляющих в значительной мере возникающие искажения. В частности, как это можно видеть из

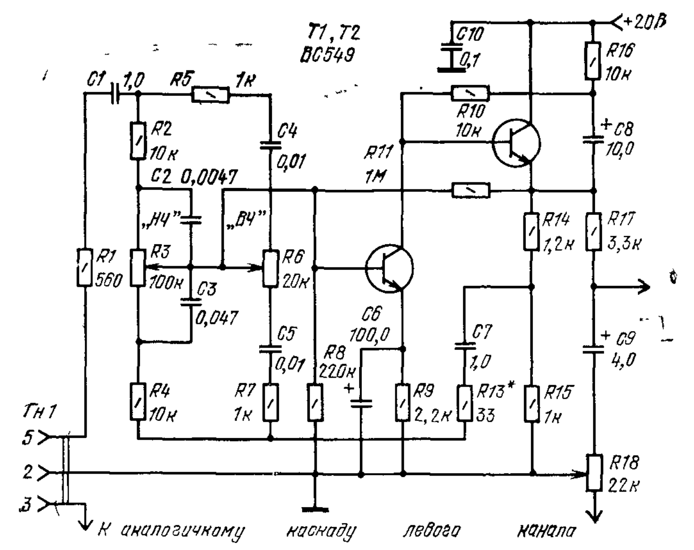


Рис. 17

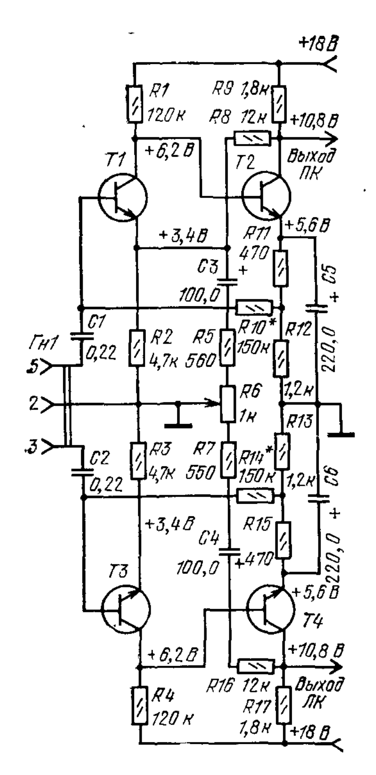


Рис. 18

рис. 17, на регулятор тембра по схеме Баксандала, который включен на входе транзистора *T1*, подаются сигналы отрицательной обратной связи как с эмиттера транзистора *T2*, так и с делителя напряжения на резисторах *R14* и *R15*. Регулировка стереобаланса производится переменным резистором *R18*, общим для каскадов правого и левого каналов, идентичных друг другу. Минимизация коэффициента гармонических искажений достигается подбором сопротивления резистора *R13*.

При повторении конструкции следует учитывать, что транзисторы типа BC549 аналогичны по параметрам отечественным транзисторам типа КТ316Д и КТ368Б. В случае необходимости можно использовать транзисторы типа КТ306Г или КТ315Е либо КТ315Г. Переменные резисторы *R3*, *R6* и *R18* группы А типа СП3-23б (сдвоенные с одноименными резисторами левого канала). Резистор *R18* — одинарный. Входной сигнал подается к гнезду *Гн1*, выходное напряжение канала снимается с конденсатора *C9* (в каждом канале). Гнездо *Гн1* типа СГ-5.

Каскад с широкополосной балансировкой каналов. На рис. 18 приведена принципиальная схема двухканального каскада предварительного усиления стереофонической установки, в которой обеспечивается достаточно точная балансировка обоих каналов в широкой полосе пропускаемых частот. Входное сопротивление каждого ка-

нала не менее 0,1 МОм, выходное 50 Ом. Коэффициент гармонических искажений в полосе частот от 20 Гц до 20 кГц составляет 0,05% при выходном напряжении 0,5 В и не превышает 0,15% при 2,0 В. Глубина регулировки стереобаланса от 0 до 6 дБ в каждую сторону.

Возможность равномерной балансировки усиления в широкой полосе частот обусловлена тем, что переменный резистор стереобаланса *R6* включен через цепочки *R5C3* и *R7C4* обоих каналов в цепи отрицательных обратных связей, действующих с выходов каскадов на их входы. Поэтому перемещение движка переменного резистора *R6* приводит к уменьшению усиления в одном канале и одновременно к увеличению усиления в другом.

При повторении конструкции желательно использовать кремниевые высокочастотные малошумящие транзисторы, например, типа КТ340А. В случае необходимости можно применить транзисторы типа КТ315Б. Налаживание каскада сводится к подбору сопротивления резисторов *R10* и *R14*, при которых на электродах транзисторов *T2* и *T4* будут действовать постоянные напряжения, указанные на рис. 18.

Эффективный компенсатор переходных помех. Многие радиолюбители, занимающиеся конструированием стереофонических установок, отмечали, что явление стереоэффекта было незначительным либо отсутствовало вовсе. Причиной этого были ошибки, допущенные при подборе деталей, монтаже усилителя и громкоговорителей, а также большой уровень переходных помех между каналами, подавление которых требует принятия специальных мер. Переходные помехи возникают главным образом за счет связи усилителей обоих каналов через общий источник питания. Поэтому основной мерой борьбы является применение для питания усилителей левого и правого каналов двух раздельных идентичных стабилизированных выпрямителей. Это сложно, дорого, громоздко, но в ряде высококачественных зарубежных усилителей эти меры применяются и дают хороший результат. При этом незначительный уровень переходных помех из одного канала в другой все же остается из-за несовершенства экранировки и развязки каскадов различных каналов между собой.

Значительно ослабить или даже полностью подавить переходные помехи между каналами стереофонических усилителей можно, если в предварительном усилителе обоих каналов применить специальный компенсатор переходных помех. На рис. 19 приведена принципиальная схема простого и эффективного компенсатора переходных помех.

Как видно из рис. 19, компенсатор представляет собой двухканальный каскад предварительного усиления. В каждом канале использовано по два высокочастотных малошумящих кремниевых транзистора *T1*, *T2* и *T3*, *T4*. Каскады на транзисторах *T1* и *T3* собраны по схеме с разделенной нагрузкой. Как уже говорилось ранее (рис. 16), выходные напряжения в цепях коллекторов и эмиттеров каждого из таких каскадов противоположны по знаку. Кроме того, за счет неравенства сопротивлений резисторов в цепях их эмиттеров и коллекторов (*R7* и *R10*, *R14* и *R11*) амплитуда напряжения сигнала в коллекторных цепях примерно в два раза больше, чем в эмиттерных.

В связи с тем, что сдвоенные переменные резисторы *R8* и *R13* компенсатора переходных помех включены между эмиттерами и коллекторами транзисторов соответствующих каналов через конденсаторы *C5* и *C6* и резисторы *R9* и *R12*, перемещение движков резисторов *R8* и *R13* приводит к изменению амплитуды и фазы сигнала, поступающего на базу транзистора второго каскада канального усилителя, но уже другого канала. Основной сигнал и сигнал компенсации могут быть в фазе или противофазе, равной или неравной амплитуды. Подстройкой переменного резистора *R12* можно добиться того, что при крайнем нижнем положении движков переменных резисторов сигнал одного канала будет полностью вычтен из сигнала второго канала и наоборот, т. е. произойдет перекомпенсация переходных помех. При другом, крайнем верхнем по схеме (для резистора *R8*) положении движков в каждом канале будет действовать сумма двух исходных сигналов, т. е. произойдет сведение двух стереофонических сигналов в один монофонический. Очевидно, что при некоторых средних положениях движков резисторов *R8* и *R13* можно в требуемой мере подавить переходные помехи и сохранить стереофонические сигналы.

При изготовлении каскада по схеме рис. 19 можно использовать транзисторы типа КТ364В или КТ315В, КТ315Г. Налаживание сводится к подбору со-

противлений резисторов $R1$ и $R6$ для установления на коллекторах соответствующих транзисторов ($T1$ для $R1$ и $T3$ для $R6$) постоянного напряжения, указанного на рис. 19, измеренного относительно общего провода.

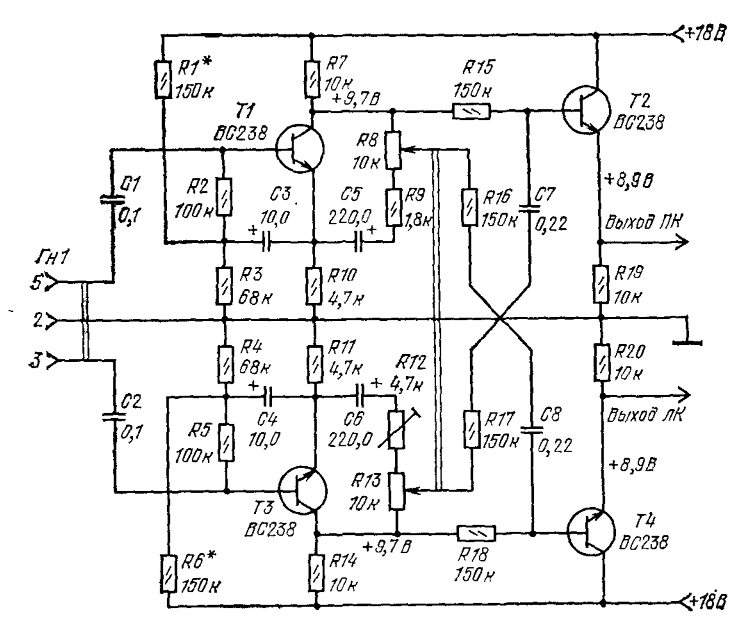


Рис. 19

Как показала практика применения компенсатора переходных помех, взаимное влияние каналов уменьшается в среднем на 16—20 дБ и переходное затухание достигает 30—40 дБ. Коэффициент гармонических искажений около 0,1%. Входное сопротивление не менее 0,5 МОм. Полоса пропускаемых частот от 20 Гц до 20 кГц.

Стереофонические головные телефоны. Обладатели стереофонических установок нередко оказываются в трудном положении. Для обеспечения высококачественного звучания необходимо увеличивать выходную мощность усилителя до 10—20 Вт, но для сохранения покоя окружающих надо снижать громкость до минимума. Одним из возможных компромиссов может быть применение индивидуальных громкоговорителей, оформленных подобно головным телефонам. Такие устройства могут быть моно- и стереофоническими. Появились сообщения о создании квадрафонических головных телефонов, где на каждое ухо приходится по две малогабаритные динамические головки. Такие индивидуальные громкоговорящие телефоны уже нашли широкое применение при прослушивании магнитофильмов, грампластинок, радиопередач и даже ... электромузыкальных инструментов — электроорганов, контрабасов, гитар и т. п. Такое «молчаливое» для окружающих прослушивание музыкальных программ позволяет исключить возникновение разного рода конфликтов, связанных с нарушением тишины.

Порой радиолюбители допускают ошибку, прослушивая высококачественные установки с помощью головных телефонов ТОН-1 или ТОН-2, не предназначенные для этой цели, поскольку обладают очень узкой полосой пропускаемых частот и вносят большие нелинейные искажения. Значительно лучшие результаты можно получить, если использовать специальные стереофонические головные телефоны, выпускаемые отечественной промышленностью, или сделать их самостоятельно на базе доступных динамических головок типа 0,5ГД-30 или 0,5ГД-31. При прослушивании монофонических программ обе динамические го-

ловки соединяют синфазно, последовательно или параллельно в зависимости от требуемого сопротивления нагрузки усилителя. При прослушивании стереофонических программ каждую головку подключают к выходу соответствующего канала усилителя: головка, прикладываемая к левому уху, — к левому каналу, к правому уху — к правому каналу

Те, кому довелось прослушать стереопрограмму на головные телефоны, отмечают чистоту и прозрачность звучания, четкое разделение сигналов обоих каналов. Правда, при длительном прослушивании можно отметить некоторую резкость в проявлении звуков дискретных каналов по сравнению с воспроизведением через два разнесенных на 1,5—2,0 м громкоговорителя.

Дело в том, что стереоэффект при прослушивании стереофонических программ через разнесенные между собой громкоговорители возникает также за счет относительного запаздывания и различной интенсивности колебаний, воспринимаемых левым и правым ухом от одного и того же громкоговорителя. Оказывается, что из-за различий дальности путей, которыми проходят звуковые волны до каждого уха, наблюдается изменение чувствительности левого и правого уха в зависимости от направления прихода звука и его частоты. Причем это явление начинает проявляться на частотах, где длина волны акустических колебаний не более чем в 10 раз превышает размеры головы человека, т. е. на частотах выше 150—200 Гц.

На страницах радиолюбительских журналов был подробно рассмотрен этот вопрос. На рис. 20 приведена зависимость относительной чувствительности левого и правого уха человека (дБ) от частоты сигнала для случая, когда звук приходит под углом 45° к слушателю.

Как видно из рис. 20, разница в чувствительности левого и правого уха на частотах ниже 200 Гц практически отсутствует. Зато по мере повышения частоты колебаний чувствительность левого (ближнего) уха возрастает, чувствительность правого (дальнего) уменьшается. В среднем можно считать, что на частотах выше 1 кГц чувствительность левого уха на 5 дБ выше, а правого на 10 дБ ниже, чем на нижних частотах. Если источник звука перенести вправо, то кривые чувствительности левого и правого уха поменяются местами.

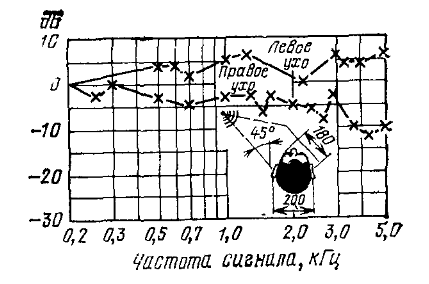


Рис. 20

Очевидно, что при непосредственном подключении головных телефонов к выходам левого и правого каналов усилителя такое явление наблюдаться не будет, вследствие чего и возникает ощущение дискретности источников звука. Этот недостаток может быть устранен включением между выходами усилительных каналов и динамическими головками головного телефона дополнительного устройства с перекрестными частотно-зависимыми связями, имитирующего запаздывание и изменение интенсивности звука от разнесенных громкоговорителей левого и правого каналов.

На рис. 21 приведены принципиальные схемы дополнительных приставок с корректирующими фильтрами, создающими перекрестные связи без каких-либо регулировок (*а*), и с использованием регуляторов уровня в каждом канале и стереобаланса (*б*). В первом варианте (рис. 21,*а*) головки *Гр1* и *Гр2* подключены к выходам соответствующих каналов стереоусилителя через ограничительные резисторы *R1* и *R5* и фильтрующие цепочки *R2C1*, *R4C3*. Головки соединены резонансным контуром *L2C2*, зашунтированным резистором *R3*, и катушкой индуктивности *L1*. Регулировка громкости и стереобаланса осуществляется в основном УНЧ. В ряде случаев для удобства управления звучанием целесообразно регулировки помещать рядом с головными телефонами. В такой ситуации имеет преимущества приставка (рис. 21,*б*), позволяющая регулировать громкость и стереобаланс на значительном удалении от усилителя.

Конструктивно оба описанных выше устройства оформляют в виде печат-

ной платы, размещаемой в металлическом экране. Гнезда для подключения телефона и выходов усилителя должны быть типа СГ-5.

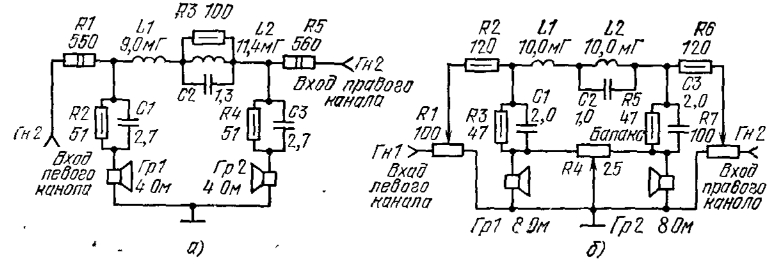


Рис. 21

К сожалению, в описаниях дополнительных приставок для стереотелефонов, опубликованных в радиолюбительских журналах, отсутствовали намоточные данные катушек индуктивности, но их можно сделать по указанным на рис. 21,*а, б* значениям индуктивности. Наличие катушек индуктивности является недостатком рассматриваемых приставок, затрудняющим регулировку глубины перекрестных связей между динамическими головками.

В этом отношении приставка по принципиальной схеме, приведенной на рис. 22, имеет явные преимущества. Во-первых, в ней отсутствуют катушки индуктивности, поскольку все прямые и перекрестные связи осуществляются с помощью постоянных резисторов и конденсаторов. Во-вторых, сдвоенный переключатель *B1* позволяет дискретно изменять глубину перекрестных связей. При повторении конструкции можно использовать тумблер на два направления, постоянные резисторы типа МЛТ-0,5 и МЛТ-1. Входные и выходные гнезда (соответственно *Гн1* и *Гн2*) типа СГ-5. Корпус приставки из листового алюминия или дуралюминия.

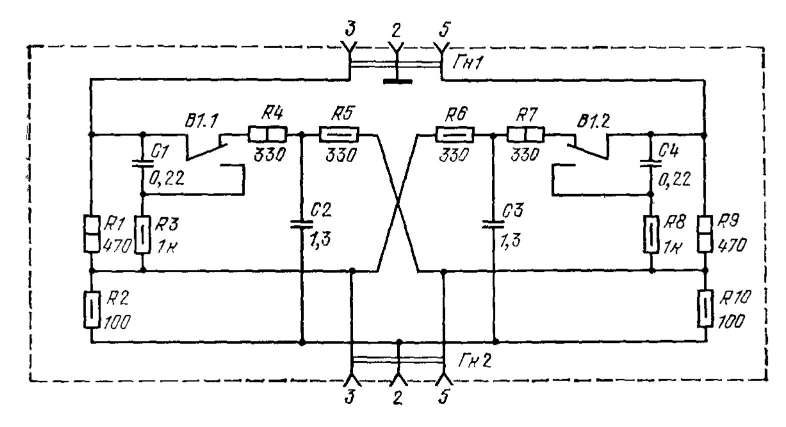


Рис. 22

По мнению большинства авторов и радиолюбителей, стереофонические головные телефоны с дополнительными приставками позволяют добиваться большей объемности и пластичности звука, пространственной различимости музыкальных инструментов. Вместе с тем все виды головных телефонов при совместной работе с современными усилителями мощности на 10—20 Вт и более представляют большую опасность для органов слуха. Это объясняется тем, что уже при выходной мощности в несколько ватт звуковое давление, создаваемое головным телефоном, достигает болевого уровня 120—130 дБ, за которым идет порог физической боли и разрушения органа слуха — 140 дБ. Поэтому пользо-

ваться головными телефонами следует осторожно. В этом отношении описанные выше приставки, имеющие токоограничительные резисторы, являются в какой-то степени защитными устройствами.

ПСЕВДОКВАДРАФОНИЧЕСКИЕ ПРИСТАВКИ

Простейшая приставка. При наличии стереофонической установки, двух громкоговорителей на 2—3 Вт, например динамических головок типа 3ГД-38, двухполюсного тумблера, двух резисторов, один из которых переменный, можно в течение одного вечера собрать и опробовать в действии простейшую псевдоквадрафоническую приставку, принципиальная схема которой дана на рис. 23.

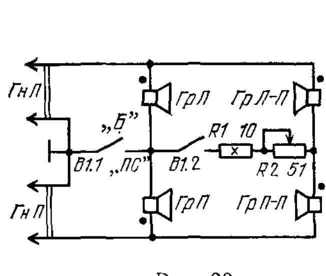


Рис. 23

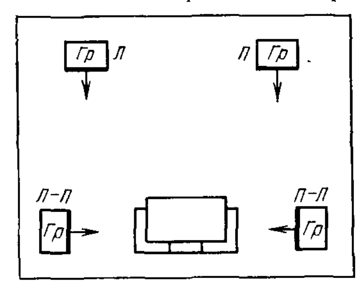


Рис. 24

Принцип действия ее основан на выделении разностного сигнала между левым и правым каналом и воспроизведении его с помощью двух громкоговорителей, включенных противофазно друг другу. За счет противофазности включения один из дополнительных громкоговорителей воспроизводит сигнал левого канала, из которого вычтен сигнал правого (*Гр Л—П*), а другой — сигнал правого канала, из которого вычтен сигнал левого (*Гр П—Л*). Кроме того, имеются два основных громкоговорителя, один из которых воспроизводит полностью сигнал левого канала (*Гр Л*), другой — правого (*Гр П*).

Если громкоговорители разместить в помещении так, как показано на рис. 24, то при воспроизведении стереофонической программы у слушателя возникнет ощущение объемности звучания, свойственного квадрафонии. Для того чтобы можно было регулировать глубину создаваемого эффекта, необходимо подбирать оптимальное соотношение мощностей слагаемого и вычитаемого сигналов. Это достигается с помощью резисторов *R1* и *R2*, включаемых тумблером *В1.2*. Переменный резистор позволяет плавно менять соотношение исходных сигналов, подводимых к дополнительным громкоговорителям. В среднем можно считать, что для создания хорошего эффекта псевдоквадрафонии мощность, подводимая к дополнительным громкоговорителям, должна быть в 2—4 раза меньше мощности, подводимой к основным громкоговорителям. По установившейся терминологии основные громкоговорители называются фронтальными, так как их размещают перед слушателем, а дополнительные — тыловыми, поскольку они находятся сзади и сбоку.

Требуемое согласование полярности включения динамических головок громкоговорителей указано на рис. 23, где точками обозначены начала обмоток звуковых катушек. Аналогичный знак имеется на диффузородержателях всех современных динамических головок.

Теперь о назначении второго полюса тумблера, замыкающего общую точку выходов левого и правого каналов стереоусилителя (*Гн1* и *Гн2*) с общей точкой фронтальных громкоговорителей. В разомкнутом положении все четыре громкоговорителя воспроизводят разностный сигнал обоих каналов. Этот режим автор конструкции рекомендует использовать для проведения балансировки каналов по моно- или стереофоническому сигналу. При этом регулировка стереобаланса может быть произведена очень точно по минимуму громкости звучания громкоговорителей. В обычных установках приходится сравнивать громкости звучания двух громкоговорителей, что всегда труднее осуществить.

При замыкании контактов тумблера фронтальные громкоговорители подключаются непосредственно к выходам соответствующих каналов, а тыловые — к фронтальным громкоговорителям и корректирующим резисторам. Как показала практика, наличие двухполюсного тумблера действительно упрощает и сокращает время балансировки каналов, а переменный резистор *R2* способствует лучшему восприятию эффекта применительно к конкретным условиям помещения и содержанию музыкальной программы.

При повторении конструкции необходимо, чтобы резистор *R1* имел мощность не менее 10 Вт, переменный резистор *R2* — 2—5 Вт, а стереофонический усилитель — выходную мощность не менее 5—10 Вт на канал.

Монофонический усилитель для псевдоквадрафонии. Если в распоряжении радиолюбителя имеются стерео- и монофоническая установки (усилитель низкой частоты и два громкоговорителя), то с помощью дополнительного набора деталей, состоящего из низкочастотного согласующего трансформатора от переносного транзисторного приемника, например «ВЭФ-202», конденсатора типа МБМ на 0,01 мкФ×160 В и переменного резистора типа СП-2 на 1 кОм, можно в течение одного вечера собрать, настроить и испытать более совершенную псевдоквадрафоническую установку, принципиальная схема которой дана на рис. 25.

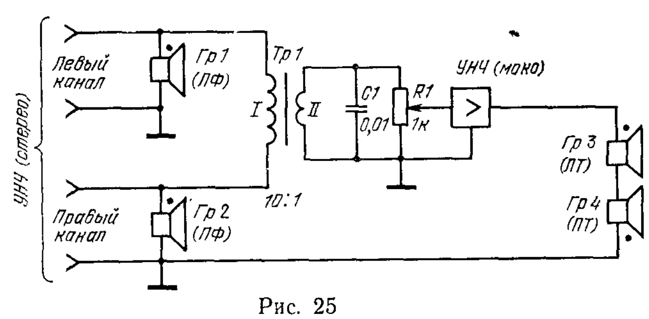


Рис. 25

Как видно из рис. 25, первичная обмотка трансформатора *Тр1* (содержащая большее число витков) включена между выходами обоих каналов стереоусилителя и осуществляет выделение разностного сигнала. Далее этот сигнал трансформируется во вторичную обмотку с уменьшением напряжения примерно в 5—7 раз. Вторичная обмотка трансформатора шунтируется резистором *R1* на 1 кОм и конденсатором *C1* на 0,01 мкФ. За счет ограниченной снизу полосы пропускания трансформатора и шунтирующего действия конденсатора *C1* на выводах резистора *R1* действуют в основном частоты сигнала от 250 Гц до 4 кГц, т. е. в той полосе частот, в которой наиболее заметно проявление эффектов стерео- и квадрафонии. Напряжение сигнала, снимаемое с движка переменного резистора *R1*, подается далее на вход монофонического усилителя, нагрузкой которого являются две противофазно соединенные динамические головки *Гр3* (*ЛТ* — левый тыловой) и *Гр4* (*ПТ* — правый тыловой). Все ранее изложенное о распределении мощности между громкоговорителями для приставки по схеме рис. 23 остается в силе и для данной конструкции. Повторение конструкции показало, что эффект квадрафонии может быть расширен, если использовать регуляторы тембра по нижним и верхним частотам монофонического усилителя При этом в зависимости от содержания программы и размеров помещения полоса пропускания может быть ограничена частотами: снизу 200—400 Гц, сверху 3—5 кГц. В связи с этим в тыловых громкоговорителях можно использовать самые доступные динамические головки на 2—3 Вт (2ГД-8, 3ГД-38 и др.).

В том случае, когда в монофоническом усилителе нет раздельных регуляторов тембра, можно воспользоваться приставкой, описываемой ниже.

Псевдоквадрафоническая приставка с регуляторами тембра. На рис. 26 дана принципиальная схема простой приставки, предназначенной для создания псевдоквадрафонического эффекта с помощью стереофонической установки, мо-

нофонического усилителя низкой частоты и двух дополнительных громкоговорителей. От приставки, описанной выше, данная конструкция отличается тем, что между движком переменного резистора *R1* и входом монофонического усилителя низкой частоты включен дополнительный усилительный каскад на транзисторе *T1* по схеме с общим эмиттером. Этот каскад снабжен простейшими регуляторами тембра нижних (*R6* «*НЧ*») и верхних (*R2* «*ВЧ*») частот. Оба переменных резистора класса А. Вход усилителя подключается к выходу регулирующего каскада через гнездо *Гн3* типа СГ-3. Поскольку каскад потребляет небольшой ток (около 1 мА), то его питание может осуществляться от гальванической батареи на 9-В.

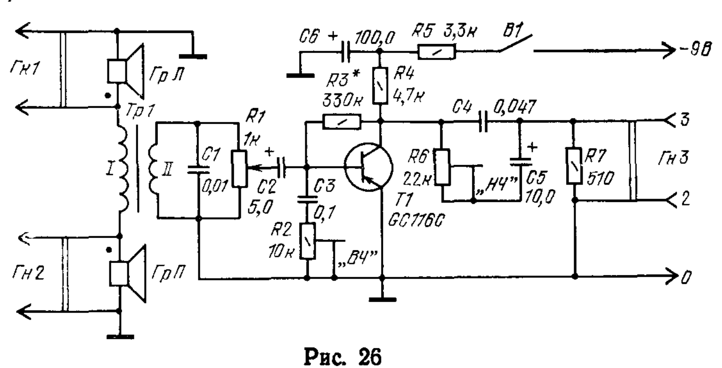


Рис. 26

При повторении конструкции приставки можно использовать транзистор типа МП41А или МП42Б, согласующий трансформатор от приемника «ВЭФ-202» или ему подобного, постоянные резисторы типа МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5, электролитические конденсаторы типа К50-6 или К50-12, постоянные конденсаторы типа КЛС-1 и МБМ на 160 В, а также переменные резисторы типа СП-2 или СП. Источником питания может служить батарея «Крона ВЦ» или две батареи 3336Л, соединенные последовательно. Корпус приставки должен быть металлическим. Размещение громкоговорителей показано на рис. 24.

Практика показала, что применение приставки по схеме рис. 26 дает заметный эффект даже при использовании простого усилителя низкой частоты с выходной мощностью всего 2—3 Вт

Псевдоквадрафоническая приставка — фазовращатель. Описанные выше приставки построены по принципу выделения и излучения двумя громкоговорителями разностного сигнала двух каналов стереофонической установки. Известны также приставки другой конструкции, где выделяется суммарный либо суммарный и разностный сигналы. Теория работы таких приставок изучена давно. Как показывает практика, они не дают заметного выигрыша в эффекте по сравнению с приставками, использующими разностный сигнал, однако, как правило, сложнее их по исполнению.

В любительской и профессиональной практике находят применение приставки, дающие заметный эффект псевдоквадрафонии за счет преобразования фазы колебаний составляющих сигнала каждого канала. В результате из каждого сигнала получается два, различающихся фазами. Основные сигналы усиливаются и воспроизводятся стереофонической установкой, а два вновь созданных усиливаются и воспроизводятся дополнительной стереофонической установкой, обычно идентичной первой. Меняя фазовые соотношения между исходными и вновь создаваемыми сигналами, можно регулировать глубину псевдоквадрафонического эффекта. Очевидно, этому способствует также использование регуляторов громкости и тембра усилителей стереофонических установок.

В нашей стране и за рубежом предложено несколько вариантов псевдоквадрафонических приставок — фазовращателей, которые различаются фазовым сдвигом, полосой частот, в которой наблюдается этот сдвиг, соотношением мощностей и т. д. В одном случае фазовращатель должен изменять фазу всех составляющих сигнала в определенной полосе частот на угол 25°, в дру-

гом — на 135°, в третьем — на 45°, в четвертом — на 120° и т. д. Но все же в большинстве случаев применяют широкополосные фазовращатели, создающие ортогональные сигналы, т. е. сигналы, у которых составляющие одних и тех же частот смещены относительно друг друга на угол 90 или 270°. Обычно фазовый сдвиг выдерживается в полосе частот от 50—200 Гц до 3—5 кГц. Псевдоквадрафонические установки с фазовращателем на 90° наиболее близки по своему звучанию квадрафоническим установкам.

На рис. 27 приведена принципиальная схема простого каскада-фазовращателя, создающего два ортогональных сигнала из каждого стереофонического сигнала. Каскад обеспечивает поворот фазы гармонических составляющих в полосе частот от 70 Гц до 4,3 кГц.

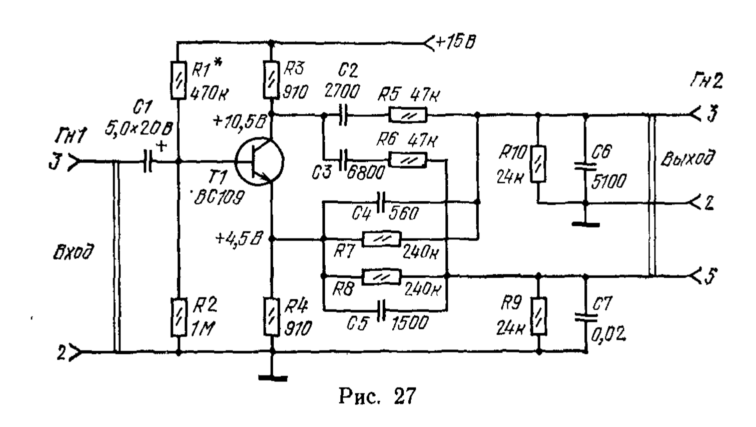


Рис. 27

Как видно из рис. 27, входной сигнал с выхода одного из каналов подается на гнездо *Гн1*, далее через конденсатор *С1* на базу транзистора *Т1*, включенного по схеме с разделенной и равной нагрузкой. Два равных по амплитуде и противоположных по фазе напряжения сигнала, снимаемые с коллектора и эмиттера транзистора *Т1*, подаются на входы фазовращателя, включающего конденсаторы *С2—С5* и постоянные резисторы *R5—R8*. Нагрузкой фазовращателя служат две цепочки *R10С6* и *R9С7*, с которых снимается выходное напряжение двух вновь созданных сигналов, имеющих взаимный сдвиг по фазе на 90°.

При повторении конструкции приставки — фазовращателя в первую очередь необходимо обратить внимание на подбор элементов фазовращателя с возможно большей точностью. В профессиональных приставках разброс параметров элементов допускается в пределах ±1%. В любительских условиях можно допустить отклонения от номинала до 2—3%. Поскольку наиболее распространены постоянные резисторы и конденсаторы с разбросом ±10%, то потребуется отобрать из нескольких однотипных деталей пары резисторов и конденсаторов с наименьшим отклонением от номинала.

В данном случае транзистор *Т1* может быть типа КТ312Б или КТ315В. Постоянные конденсаторы типа МБМ или КСО-2, КСО-5. Постоянные резисторы типа ВС-0,25 или МЛТ-0,25, МЛТ-0,5. Выходное гнездо *Гн1* типа СГ-5. К нему подключают вход двухканального усилителя одной стереофонической установки. Для преобразования фазы сигнала второго канала необходим второй каскад, полностью аналогичный первому, собранному по схеме рис. 27. В связи с этим входной разъем *Гн1* может быть общим для обоих каскадов. Обычно его выбирают типа СГ-5 либо делают два раздельных гнезда, каждое из которых типа СГ-3.

Ток, потребляемый каждым каскадом, равен 5 мА; обоими каскадами — 10 мА. Поэтому питание приставки можно производить от гальванических батарей с начальным напряжением 15—18 В или стабилизированного выпрямителя с малым коэффициентом пульсаций.

МНОГОПОЛОСНЫЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Достижение высокого качества работы электроакустических установок является непростым делом. И во многом трудности обусловлены широкополосностью усиливаемых и воспроизводимых сигналов. Так, сигнал, воспроизводящий музыкальное произведение в исполнении большого симфонического оркестра, занимает полосу частот от 20 Гц до 20 кГц, причем неравномерность амплитудно-частотной характеристики усилительного тракта не должна превышать ±3 дБ. Достичь этого удается не всегда. С учетом требования об ограничении коэффициента гармонических искажений 0,5—1% создание высококачественных усилителей и громкоговорителей становится проблемой.

Давно известно, что перечисленные выше трудности можно преодолеть, если использовать многополосные электроакустические установки. Многополосными принято называть устройства, в которых исходный широкополосный сигнал разделяется с помощью специальных фильтров на ряд узких частотных полос, на которых осуществляется основное усиление сигнала и его воспроизведение. Ранее, когда УНЧ и динамические головки громкоговорителей были громоздкими, неэкономичными, многополосные электроакустические установки применялись лишь в кинотеатрах и на сцене. В дальнейшем, по мере совершенствования транзисторных усилителей, создания малогабаритных и эффективных динамических головок, появилась реальная возможность осуществить принципы многополосного усиления и воспроизведения звука даже в любительских условиях.

В настоящее время распространены электроакустические установки с многополосными УНЧ и широкополосными усилителями, нагруженными на многополосные громкоговорители. Установки второго типа получили широкое распространение благодаря своей относительной простоте и возможности воспроизведения звука практически равномерно во всей желаемой полосе. При этом, конечно, проблемы обеспечения высокого качества усиления широкополосного сигнала по-прежнему остаются.

В установках с многополосными усилителями имеется несколько каскадов, усиливающих только некоторую часть спектра широкополосного сигнала. Нагрузкой каждого такого полосового усилителя является отдельный громкоговоритель, предназначенный для воспроизведения частот только своей полосы. При относительно большом числе полос усиливаемого сигнала (3—5 и более) в многополосном усилителе отпадает необходимость в специальном каскаде регулятора тембра, так как имеющиеся в каждом полосовом усилителе собственные регуляторы громкости одновременно выполняют роль регуляторов тембра. В частности, как уже говорилось при обсуждении рис. 10, с помощью трехполосного усилителя низкой частоты и трех громкоговорителей очень просто создавать эффект присутствия.

Многополосные УНЧ имеют ряд преимуществ перед широкополосными. Они допускают работу каждого полосового усилителя с бо́льшим коэффициентом гармонических искажений. Упрощается регулировка тембра; облегчаются условия работы динамических головок. Но при этом усложняется конструкция и увеличивается стоимость электроакустической установки. Видимо, по этим причинам большинство любительских и профессиональных электроакустических установок, в особенности многоканальных, имеют широкополосные УНЧ, нагруженные на многополосные громкоговорители. О том, как улучшить работу громкоговорителей, пойдет разговор в следующей главе, а пока остановимся на возможных схемных решениях наиболее простых установок, имеющих две и три полосы раздельного усиления и воспроизведения звука.

При разработке многополосных УНЧ в первую очередь решается вопрос о выборе границ раздела между отдельными полосами, на которые будет делиться широкополосный сигнал. От этого во многом зависит распределение мощности между полосовыми усилителями. Связь между частотой раздела и мощностью канала нижних и верхних частот при двухполосном усилении и воспроизведении применительно к акустической системе, предназначенной для воспроизведения речевых и музыкальных программ, показана на рис. 28. Из рисунка видно, что на частотах раздела ниже 100 Гц мощности обоих каналов равны. По мере увеличения частоты раздела требуемая мощность усилителя верхних

частот монотонно уменьшается и достигает 20% от мощности низкочастотного канала на частотах выше 10 кГц.

На рис. 28 вертикальными штриховыми линиями обозначены области частот раздела, которые наиболее удобны для двух- и трехполосных установок. Так, в двухполосных установках частота раздела принимается чаще всего от 500 до 800 Гц, реже 4—5 кГц. Как правило, выбор того или иного значения частоты раздела полос производится исходя из частотных свойств динамических головок, воспроизводящих нижние и верхние частоты. В трехканальных установках выбор частот ограничен частотами раздела между нижними и средними (500—800 Гц) и между средними и верхними (4—5 кГц).

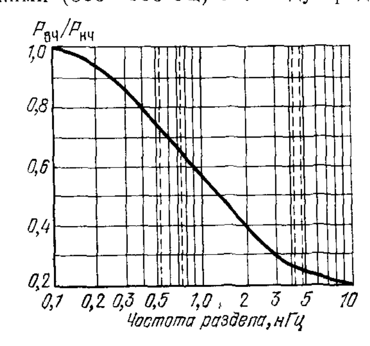


Рис. 28

Вторым вопросом является выбор схемы фильтра или каскада, с помощью которого широкополосный сигнал будет разбит на две или три полосы заданной ширины. Ранее для этой цели широко использовались пассивные разделительные фильтры, выполненные на резонансных контурах или *RC*-цепях. Но такие фильтры вносят большое ослабление сигнала в полосе пропускания, подвержены действию разного рода помех и наводок. В настоящее время более широкое применение находят активные разделительные фильтры, выполненные на транзисторах или линейных интегральных микросхемах.

Рассмотрим конструкции разделительных каскадов для формирования двух- и трехполосного сигналов с использованием транзисторов и *RC*-цепей.

Формирователь двухполосного сигнала. На рис. 29 приведена принципиальная схема формирователя двухполосного сигнала на четырех высокочастотных малошумящих транзисторах. В зависимости от соотношения сопротивлений резисторов *R7*, *R15*, конденсаторов *C8*, *C6* частота разделения полос может находиться в пределах 105—8670 Гц. При этом крутизна спадов характеристик на частотах раздела составляет 12 дБ на октаву.

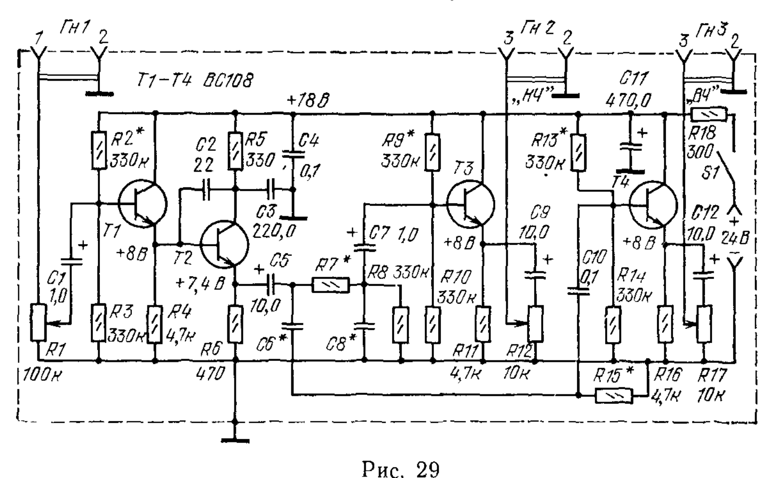


Рис. 29

Устройство формирователя несложно. Транзистор *T1*, к базе которого подводится исходный широкополосный сигнал через гнездо *Гн1*, работает в режиме эмиттерного повторителя. Транзистор *T2* включен по схеме с разделенной нагрузкой. Напряжение широкополосного сигнала, снимаемое с эмиттера тран-

зистора *Т2*, подается на разделительный фильтр, собранный на резисторах *R7*, *R15* и конденсаторах *С6*, *С8*. Частоты, лежащие выше частоты разделения, снимаются с резистора *R15* и через конденсатор *С10* подаются на базу эмиттерного повторителя на транзисторе *Т4*; далее с движка регулятора уровня верхних частот (резистора *R17*) поступают на гнездо *Гн3* «*ВЧ*». Колебания с частотой ниже частоты разделения снимаются с конденсатора *С8*, поступают на базу транзистора *Т3*, включенного по схеме эмиттерного повторителя, откуда подаются через регулятор уровня нижних частот (переменный резистор *R12*) к выходному гнезду *Гн2* «*НЧ*». Регулировка уровня широкополосного сигнала на входе формирователя осуществляется переменным резистором *R1* группы В.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ315Б, КТ315Г, КТ315Е. Гнезда *Гн1—Гн3* типа СГ-3. Для подбора сопротивлений резисторов *R7*, *R15* и емкостей конденсаторов *С6*, *С8*, определяющих требуемое значение частот, необходимо пользоваться данными табл. 5.

Таблица 5

Сопротивление резистора, кОм	Емкость конденсатора, мкФ								
	0,33	0,22	0,1	0,068	0,047	0,033	0,022	0,01	6800 пФ
2,7	180	270	590	865	1250	1790	2680	5890	8670
3,0	160	240	530	780	1130	1610	2410	5300	7800
3,3	145	220	480	710	1030	1460	2190	4820	1090
3,6	134	200	440	650	940	1340	2000	4420	6500
3,9	125	185	410	600	870	1240	1850	4080	6000
4,3	110	170	370	545	790	1120	1680	3700	5440
4,4	105	155	340	500	720	1030	1540	3390	4980
5,1	—	140	310	460	660	950	1420	3120	4590
5,6	—	130	285	420	600	860	1290	2840	4280
6,2	—	115	255	375	500	710	1160	2540	3440
6,8	—	105	255	345	550	710	1060	2340	3440

Налаживание формирователя сводится к проверке постоянных напряжений на эмиттерах транзисторов относительно общего провода. При отклонениях более ±10% необходимо подобрать сопротивление резистора, обозначенного на схеме рис. 29 звездочкой.

Формирователь трехполосного сигнала. На рис. 30 представлена принципиальная схема формирователя трехполосного сигнала, который является дальнейшим развитием формирователя двухполосного сигнала. Увеличение числа полос потребовало усложнить схему разделительных цепей и увеличить число выходных эмиттерных повторителей. По числу полос имеется три выходных гнезда: *Гн2* «*НЧ*», *Гн3* «*ВЧ*» и *Гн4* «*СЧ*». Для формирования полосы средних частот используется активный фильтр на дополнительных транзисторах *Т5* и *Т6*. По табл. 5 находят номиналы деталей, обозначенных одной звездочкой (кроме резисторов *R2*, *R9*, *R13*, *R20*, *R27*), предназначенных для коррекции режимов

работы транзисторов по постоянному току. Это — резисторы *R7*, конденсатор *C8*. Резисторы *R15*, *R25*, конденсаторы *C6*, *C15* находят по табл. 6, т. е. по табл 5 подбирают номиналы элементов, определяющих частоту разделения между нижними и средними частотами, по табл. 6 — между средними и верхними частотами.

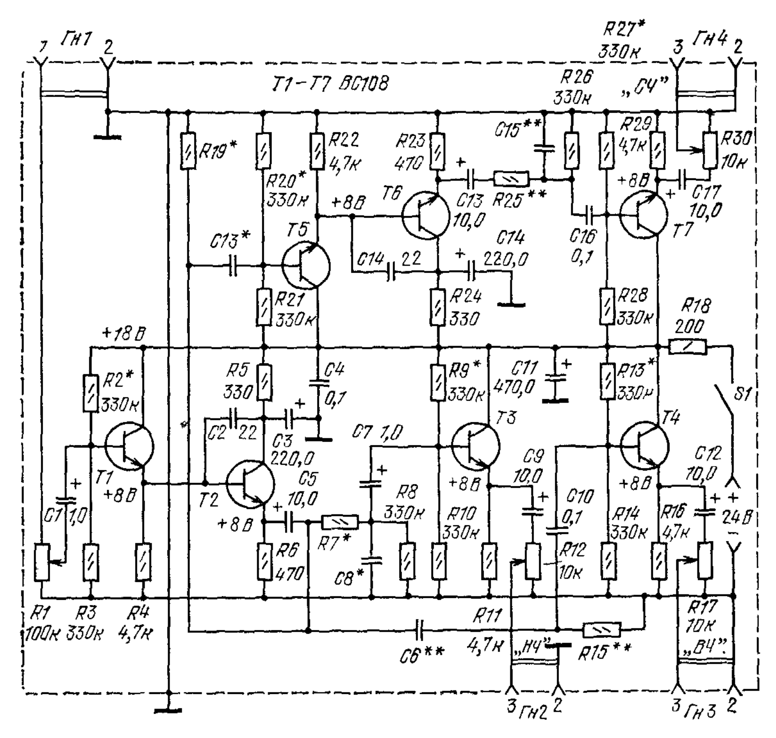


Рис 30

Таблица 6

Сопротивление резистора, кОм	Емкость конденсатора, пФ			
	0,01 мкФ	6800	4700	3300
2,7	5890	8670	12 550	—
3,0	5300	7800	11 300	16 100
3,3	4820	7090	10 250	14 600
3,6	4420	6500	9400	13 400
3,9	4080	6000	8700	12 400
4,3	3700	5440	7900	11 300
4,7	3390	4980	7200	10 300
5,1	3120	4590	6600	9400
5,6	2840	4180	6050	8600
6,2	2560	3770	5500	7850
6,8	2340	3440	5000	7100

В заключение следует добавить, что для полной реализации возможностей двух- и трехполосных установок необходимо иметь соответственно по два и три полосовых усилителя с громкоговорителями на каждый канал звуковоспроизведения Для стереофонических установок общее число усилителей и громкоговорителей удваивается

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

МНОГОПОЛОСНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Высокие требования, предъявляемые к современным громкоговорителям, можно удовлетворить лишь с помощью многополосных акустических систем с двумя, тремя или более динамическими головками, каждая из которых воспроизводит только соответствующую часть спектра подводимого к громкоговорителю широкополосного сигнала. В зависимости от числа полос воспроизведения акустические системы могут быть двух-, трехполосными и т. д. Наибольшее распространение в любительской практике получили двух- и трехполосные акустические системы. Акустические системы с бо́льшим числом полос используются профессионалами.

Неотъемлемой частью любой многополосной акустической системы являются разделительные фильтры, обеспечивающие подведение к каждой динамической головке только тех частот сигнала, для воспроизведения которых она предназначена. Общее число фильтров равно числу головок. В зависимости от полосы частот, для воспроизведения которых предназначена головка, различают низко-, средне- и высокочастотные динамические головки. Рекомендуемые значения граничных частот разделительных фильтров 500 Гц, 1, 2, 3, 4, 8 кГц. В большинстве двухполосных систем граничные разделительные частоты выбирают равными 500 Гц или 2 кГц, в трехполосных — 500 Гц и 4 кГц.

Выбор значений граничных частот разделения полос зависит от частотных свойств динамических головок и значений их номинальной мощности. На рис. 31 приведены кривые мощностей низко-, средне- и высокочастотных головок в зависимости от граничной частоты разделения полос по отношению к мощности широкополосной головки, способной воспроизвести мощность, равную выходной мощности УНЧ, для совместной работы с которым предназначена многополосная акустическая система. Штриховой линией обозначена мощность высокочастотной головки трехполосной системы.

Как видно из рис. 31, при высокой частоте границы разделения полос (2—4 кГц) мощность головки низкой частоты должна быть равна мощности широкополосной головки, тогда как мощность высокочастотной головки двухполосной системы и среднечастотной трехполосной системы может составлять всего от 25 до 15%. При низкой частоте раздела мощности головок низкой и средней частоты (или высокой) должны составлять соответственно 82 и 60% от мощности широкополосной головки.

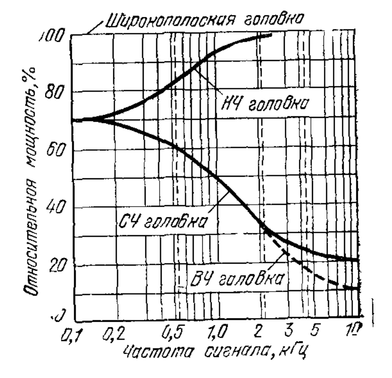


Рис. 31

Теоретически, применительно к стандартным звуковым программам, мощность головок средней и высокой частоты можно было бы уменьшить в 1,5—2 раза по сравнению с данными рис. 31. Но делать этого не следует, так как необходимо иметь запас номинальной мощности головок на случай работы УНЧ с перегрузкой или его самовозбуждения. Если этого не сделать, то возможен выход высоко- и среднечастотных головок из строя.

Двухполосные разделительные фильтры. На рис. 32 приведены принципиальные схемы наиболее простых разделительных однозвенных (*а*) и двузвенных (*б*) фильтров, а также дана их амплитудно-частотная характеристика при

пооктавном изменении частоты сигнала (*в*). Однозвенные фильтры содержат по одному конденсатору и катушке индуктивности, обеспечивая крутизну ослабления за частотой разделения 6 дБ/окт, т. е. при каждом увеличении частоты сигнала вдвое относительно частоты разделения происходит ослабление сигнала на 6 дБ (в 4 раза по мощности).

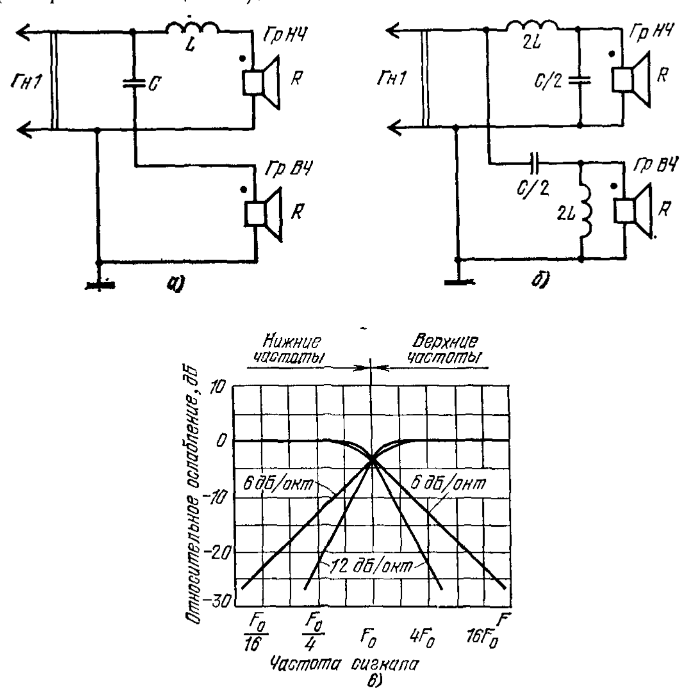


Рис. 32

Двузвенные фильтры содержат два конденсатора и д... катушки индуктивности различных номиналов, как показано на ри... 32,б. Они сложнее однозвенных, зато обеспечивают вдвое большую крут...у ... теристики ослабления за частотой разделения —12 дБ/окт. Различие хара... ...истик этих фильтров видно на рис. 32,*в*.

В зависимости от номинальных значений сопротивлений динамических головок R, частоты разделения полос F емкости конденсаторов C и индуктивностей катушек L могут быть определены по известным формулам:

$$C = 1/2\pi FR;$$

$$L = R/2\pi F,$$

где C — емкость конденсатора, Ф; L — индуктивность катушки, Гн; F — частота разделения полос, Гц; R — сопротивление звуковой катушки головки, Ом.

При расчете параметров элементов однозвенных разделительных фильтров по схеме рис. 32,*а* удобно пользоваться данными номограммы, приведенной на рис. 33,*а*, где представлены зависимости индуктивностей катушек и емкостей конденсаторов от частоты разделения полос и сопротивления звуковых катушек динамических головок (4, 8 и 16 Ом). Если известны размеры каркаса катушки и объем намотки, количество витков можно вычислить по формуле, в которой учтены размеры, указанные на рис. 33,*б*:

$$n = \sqrt{\frac{L(3d + 9b + 10c)}{80d^2}},$$

где n — число витков обмотки; L — индуктивность катушки, Гн; d — средний диаметр катушки, см; b — ширина обмотки, см; c — средняя толщина обмотки, см.

Данными рис. 33,*а, б* можно пользоваться и при расчете разделительных фильтров с двумя звеньями (см. рис. 32,*б*). В этом случае емкость конденсаторов уменьшается, а индуктивность увеличивается в 2 раза, что приводит к увеличению числа витков обмотки в 1,4 раза.

При изготовлении элементов разделительных фильтров следует иметь в виду следующее. Конденсаторы должны быть неполярными, т. е. неэлектролитическими. Это могут быть бумажные, металло-бумажные или керамические конденсаторы. Если нет конденсатора требуемой емкости, то его можно составить из нескольких конденсаторов меньшей емкости, подобрав их количество таким образом, чтобы суммарная емкость была равна требуемому значению. Рекомендуется применять конденсаторы, имеющие разброс емкости не более ±10% от номинального значения.

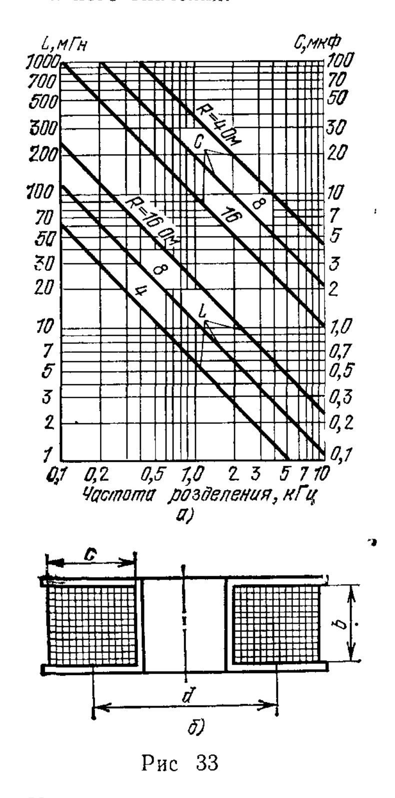


Рис 33

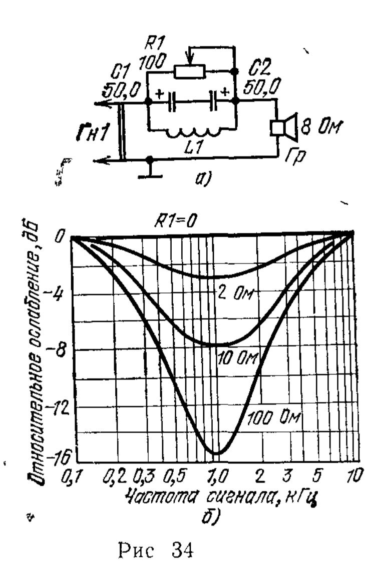


Рис 34

Намотку катушек индуктивности следует вести по возможности более толстым проводом марки ПЭВ-2, чтобы активные потери мощности сигнала в разделительных фильтрах были минимальными. В среднем намотка ведется проводом диаметром от 0,5 до 1 мм, причем чем больше подводимая мощность, тем толще должен быть провод. Это является большим недостатком многополосных акустических систем — в громоздких разделительных фильтрах теряется от 10 до 25% мощности, подводимой к громкоговорителю В этом отношении у электроакустических систем с многополосным УНЧ явные преимущества.

Двухполосный фильтр для ... одиночной головки. Пусть читатель не думает, что допущена опечатка. Все правильно. Речь идет о регулируемом фильтре, предназначенном для подчеркивания нижних и верхних частот в громко-

говорителе, содержащем лишь одну динамическую головку. Его принципиальная схема приведена на рис 34,*а*, амплитудно-частотная характеристика — на рис. 34,*б*. С помощью переменного резистора *R1* можно регулировать ослабление сигнала на средней частоте около 1 кГц до уровня —16 дБ относительно частот 0,1 и 10 кГц Принцип действия фильтра основан на использовании последовательного резонансного контура, состоящего из катушки индуктивности *L1* на 1 мГн и двух последовательно соединенных электролитических конденсаторов *C1* и *C2* по 50 мкФ каждый. Встречное включение конденсаторов позволяет использовать два электролитических конденсатора как один неполярный Переменный резистор шунтирует резонансный контур, тем самым влияя на амплитудно-частотную характеристику фильтра в целом

Регулируемый фильтр, включенный между громкоговорителем с одной широкополосной головкой *Гр1* сопротивлением 8 Ом и УНЧ, способствует значительному улучшению качества звучания громкоговорителя при работе с малым уровнем подводимой мощности Фильтр как бы учитывает физиологическую особенность уха человека снижать свою чувствительность на нижних и верхних частотах по сравнению со средними по мере уменьшения громкости звучания Очевидно, что фильтр по схеме рис. 34,*а* наиболее подходящий для несложных электроакустических устройств, не имеющих эффективных регулировок громкости и тембра.

Трехполосные разделительные фильтры. Принципиальная схема наиболее простого трехполосного двузвенного разделительного фильтра и его амплитудно-частотная характеристика приведены на рис. 35,*а* и *б*. Частоты разделения составляют соответственно 750 Гц (между нижними и средними) и 7 кГц (между средними и верхними). Крутизна спадов амплитудно-частотных характеристик за пределами полос пропускания —12 дБ/окт В зависимости от выбора емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек фильтр может работать с

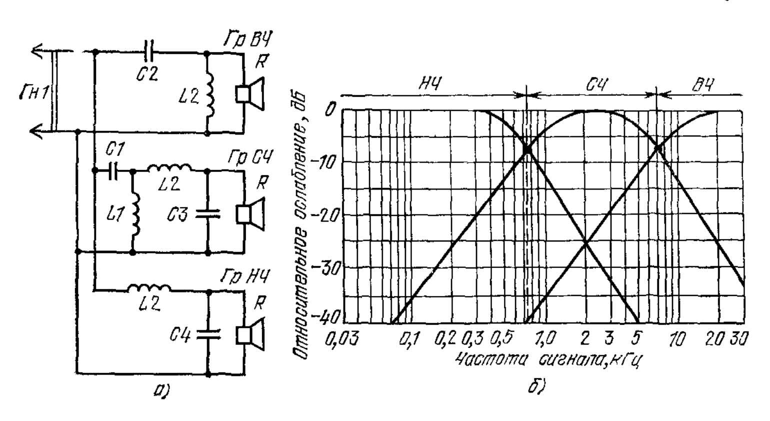


Рис 35

низко-, средне- и высокочастотными головками, имеющими сопротивление звуковых катушек 4, 8 и 16 Ом При этом в одной установке можно применять головки только с одинаковым сопротивлением

При изготовлении трехполосного разделительного фильтра по схеме рис. 35,*а* данные о катушках индуктивности и конденсаторах берут из табл 7 Подбирая конденсаторы и изготавливая катушки, следует ориентироваться на рекомендации, данные при описании двухполосных разделительных фильтров, а также пользоваться номограммой и чертежом, приведенными на рис. 33,*а*, *б*.

Как показывает радиолюбительская практика, применение двух- и трехполосных акустических систем, снабженных простейшими разделительными фильтрами, значительно улучшает качество звучания по сравнению с громкоговорителями, использующими лишь одну широкополосную головку В то же время наиболее полное использование возможностей многополосных систем требует

специального акустического оформления головок и коррекции их характеристик. Об этом пойдет речь в следующем параграфе.

Таблица 7

Элементы фильтра	Номинальные значения элементов фильтра		
R, Ом	4	8	16
$C1$, мкФ	40,0	20,0	10,0
$C2$, мкФ	4,0	2,0	1,0
$L1$, мГн	1,25	2,5	5,0
$L2$, Гн	0,125	0,25	0,5

АКУСТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ГОЛОВОК

Акустическое оформление динамических головок состоит из ящика или экрана, предназначенного для выравнивания амплитудно-частотных характеристик головок в области нижних частот звукового диапазона. Динамические головки, не имеющие акустического оформления, работают плохо на нижних частотах. Основная причина этого заключается в том, что передняя и задняя поверхности диффузора головки возбуждают звуковые колебания, равные по амплитуде, но противоположные по фазе. На нижних частотах, где излучение ненаправленное, противофазные колебания складываются и компенсируют друг друга, в результате чего резко падает акустическая отдача головки.

Для устранения взаимного влияния колебаний, возбуждаемых передней и задней поверхностями диффузора, динамическая головка может быть размещена в простейшем случае в центре квадратного экрана, сделанного из толстой фанеры или древесно-стружечной плиты размерами $L \times L$ в метрах, где $L = 0{,}06/F_{min}$. Здесь F_{min} — минимальная частота воспроизводимого сигнала, кГц

Например, при минимальной частоте сигнала 50 Гц данная формула определяет сторону квадрата, равную 1,2 м. Очевидно, что пользоваться широкополосной головкой в столь громоздком акустическом оформлении неудобно. Поэтому акустические экраны в любительских конструкциях встречаются редко. Вместо них находят широкое применение различные многогранные ящики и коробки с задней стенкой и без нее. Следует отметить, что конструирование акустического оформления динамических головок требует сложных расчетов и точных сведений о характеристиках головки Рассмотрение этих вопросов выходит за рамки данной книги Ниже будут рассмотрены примеры того, как зарубежные радиолюбители осуществляют акустическое оформление широкополосных головок

Сверхплоский фазоинвертор. Фазоинверторами называются ящики, выполненные из толстой фанеры или другого подобного древесного материала (сосновых досок, древесно-стружечных плит), в которых имеются два отверстия. Одно — для установки динамической головки, другое — для осуществления акустической связи внутреннего объема ящика с наружной средой. При подборе определенных соотношений между размерами диффузора головки, второго отверстия и самого ящика, с учетом частотных свойств головки можно добиться того, что на нижних частотах колебания, возбуждаемые задней поверхностью диффузора головки, на выходе второго отверстия фазоинвертора окажутся в фазе с колебаниями, возбуждаемыми передней поверхностью диффузора. Это замечательное свойство фазоинвертора давно и широко применяется в любительских и профессиональных установках.

У фазоинвертора имеется один недостаток — громоздкость ящика, близко-

го по форме к кубу. В этом отношении заслуживает внимания конструкция сверхплоского фазоинвертора. Чертеж конструкции приведен на рис. 36.

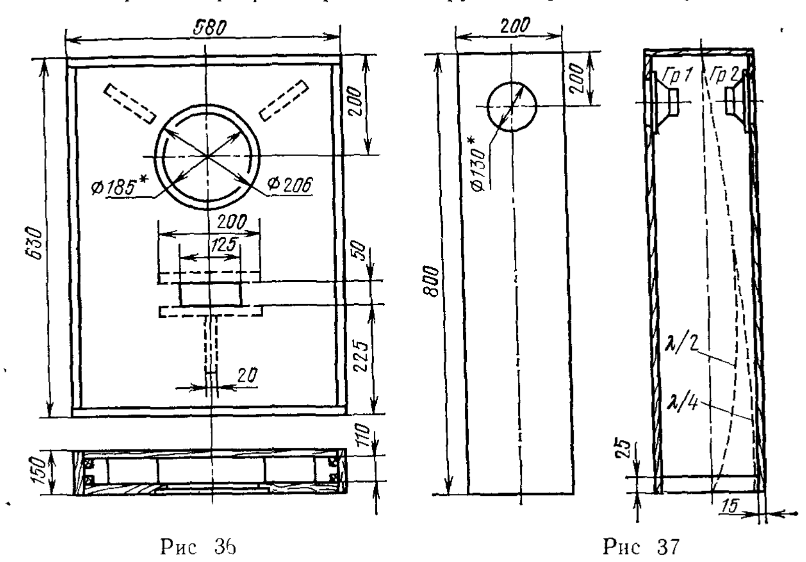


Рис 36 Рис 37

Как следует из описания оригинала, корпус ящика фазоинвертора собирают из сухих сосновых досок или отрезков древесно-стружечной плиты толщиной около 20 мм Габаритные размеры корпуса 150×580×630 мм Корпус рассчитан на установку в нем широкополосной динамической головки, аналогичной отечественной головке типа 4ГД-35 или 4ГД-36. Отверстие фазоинвертора имеет размеры 50×125 мм и находится под отверстием для головки Диффузодержатель головки закреплен снаружи, заподлицо, что дает уменьшение потерь на всех частотах. Для устранения нежелательных колебаний лицевой и задней поверхностей корпуса имеются пять распорок, обозначенных на чертеже рис. 36 штриховыми линиями, которые соединяют переднюю и заднюю стенки Распорки размером 20×109×200 мм изготовляют из того же материала, что и корпус ящика Соединяют детали корпуса шурупами и нитроклеем

Внешняя отделка корпуса сводится к драпировке передней панели радиотканью, желательно неплотной, и оклейке стенок декоративной пленкой или их фанеровке Фазоинвертор хорошо вписывается в интерьер современной комнаты и может быть размещен непосредственно у стены. Для стереофонической установки потребуется два громкоговорителя. При повторении конструкции следует уточнить размеры посадочных отверстий для конкретного типа динамической головки Кроме указанных выше, здесь возможно применение головок типа 4ГД-4, 4ГД-7, 4ГД-28.

Громкоговоритель — органная труба. Высокие требования к качеству работы акустической установки, с одной стороны, и ограниченность площади жилого помещения, где могут быть размещены громкоговорители, с другой, заставляют конструкторов искать решения, удовлетворяющие этим требованиям, или находить приемлемый компромисс. В этом отношении определенный интерес представляет конструкция однополосного громкоговорителя с двумя широкополосными динамическими головками, включенными синфазно, последовательно Громкоговоритель описан в американской радиолюбительской литературе Эскизы его передней панели и поперечного сечения показаны на рис 37

Описываемый громкоговоритель имеет корпус в виде колонки с поперечным сечением 200×200 мм, высотой 800 мм с двумя щелями у основания, образованными между полом и укороченными на 25 мм боковыми стенками, как показано на рис 37 В верхней части корпуса имеются два отверстия для уста-

новки динамических головок на передней и задней стенках корпуса. Размеры выреза и характеристики головок позволяют использовать в данной конструкции отечественные динамические головки типа 3ГД-38. Стенки корпуса изготавливают из фанеры или древесно-стружечной плиты толщиной около 15 мм.

Вытянутая форма корпуса громкоговорителя, малая площадь пола, занимаемого им, позволяют использовать такие громкоговорители в стерео- и квадрафонических установках Кроме того, громкоговоритель описываемой конструкции отличается улучшенной отдачей на нижних частотах и расширенной диаграммой излучения в горизонтальной плоскости.

Первое достоинство обусловлено явлением стоячих волн, наблюдаемым внутри корпуса громкоговорителя, который ведет себя как органная труба, настроенная на частоту около 100 Гц. Именно на этой частоте вдоль корпуса громкоговорителя укладывается одна четверть волны, что способствует подъему нижних частот На частоте вдвое выше, равной 200 Гц, наоборот, по длине корпуса укладывается точно половина длины волны. При этом наблюдаются подавления излучения из нижней части корпуса, что устраняет неприятный бубнящий призвук, свойственный акустическим установкам с большими линейными размерами.

Второе достоинство связано с использованием двух головок, излучающих в противоположных направлениях. Меняя направления излучений колонок путем вращения их относительно продольной оси, можно добиться наилучшего воспроизведения звука в условиях конкретного помещения. При этом не следует сожалеть о том, что половина излучаемой мощности направлена в противоположную сторону относительно слушателя Нижние и средние частоты, отражаясь от стен и мебели, дают многократное переизлучение звука, как бы размывая небольшие размеры самих источников звука и создавая впечатление пространственного звучания.

Громкоговоритель — групповой излучатель. Групповым излучателем называется совокупность однотипных динамических головок, размещенных в одной плоскости на определенном расстоянии друг от друга и соединенных между собой синфазно, последовательно или параллельно либо последовательно-параллельно. Для обеспечения хорошей работы громкоговорителя типа групповой излучатель необходимо, чтобы все головки были однотипными и к каждой головке подводилась одинаковая мощность Невыполнение этих требований или нарушение синфазности работы головок снижает эффективность работы группового излучателя

Широкое распространение громкоговорителей этого типа за рубежом объясняется несколькими причинами. Первая заключается в том, что с помощью нескольких головок небольшой мощности можно создать громкоговоритель большой мощности Так, в шведском радиолюбительском журнале публиковались описания любительских громкоговорителей, содержащих до 6—8 однотипных широкополосных головок по 20 Вт каждая. Такие громкоговорители могут работать с усилителями, имеющими выходную мощность до 100—200 Вт.

Другой причиной распространения групповых излучателей является свойственное им улучшение отдачи на средних и особенно самых низких частотах. Это улучшение обусловлено увеличением площади раскрыва диффузоров, пропорциональное количеству головок На самых низких частотах это увеличение составляет 6 дБ для четырех головок, 8 дБ — для шести и 9 дБ — для восьми. За счет этого происходит расширение полосы эффективно воспроизводимых частот в область более низких частот примерно на треть или половину октавы по сравнению с полосой пропускания одиночной головки в том же оформлении.

Третьей причиной является то, что глубина ящика корпуса такого громкоговорителя может быть в 1,5—2 раза меньше, чем громкоговорителя с одной головкой, т е групповой излучатель может быть достаточно плоским и его можно разместить на полу у стены или даже повесить на стену.

Остановимся на двух вариантах конструкции громкоговорителя типа групповой излучатель, содержащего четыре динамические головки по 6 Вт каждая. В этих громкоговорителях наиболее удобно использовать низкочастотные головки типа 6ГД-2. При уменьшении диаметров отверстий возможно применение головок типа 4ГД-4 или 4ГД-7, 4ГД-28, 4ГД-35, 4ГД-36. Предпочтение следует отдать первой и двум последним головкам.

Конструкция корпусов обоих вариантов показана на рис. 38,*а*, *б*. Корпуса выполняют из древесно-стружечной плиты толщиной 20 мм. Детали собирают на шурупах и клею Различие между вариантами заключается в форме передней стенки: на рис. 38,*а* она плоская, на рис. 38,*б* — чуть сложена по середине Обе конструкции имеют примерно одинаковые характеристики в области нижних частот. Результаты проведенных автором расчетов показаны на рис. 39, из которого видно, что заметный рост отдачи головок при расстоянии между центрами их диффузоров, равном 260 мм, наблюдается начиная с частоты сигнала ниже 600 Гц. Главным достоинством громкоговорителя с изломанной передней панелью (рис. 38,*б*) является несколько лучшая равномерность излучения на

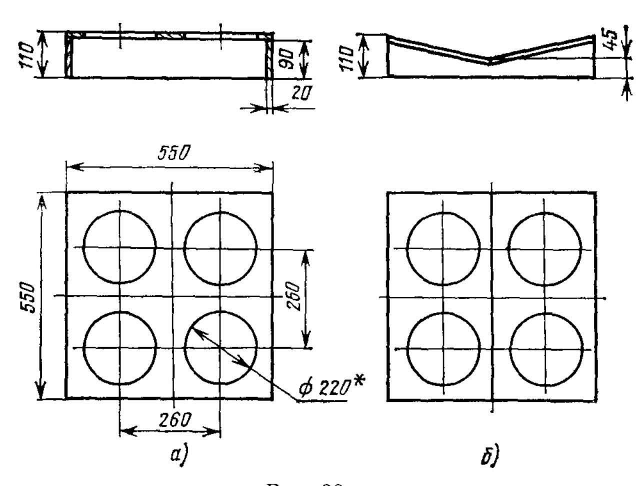


Рис 38

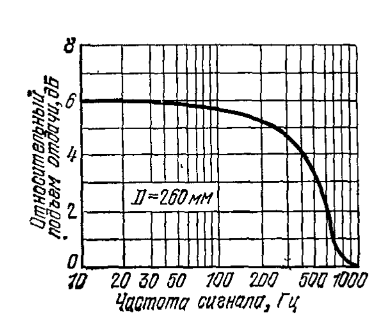


Рис. 39

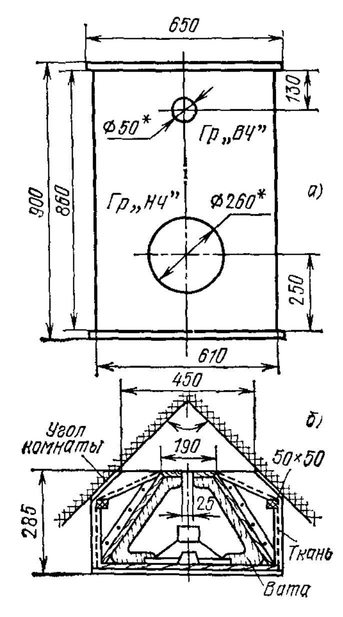


Рис 40

средних и верхних частотах в обеих плоскостях. У громкоговорителя с плоской передней панелью (рис. 38,*а*), наоборот, диаграмма излучения на этих частотах сужается.

Широко применяются в последнее время групповые излучатели, их нередко используют в качестве излучателей нижних частот систем с несколькими полосами разделения частот сигнала. Такие системы, рассчитанные на подводимую мощность до 50—100 Вт и более, широко применяют для озвучивания эстрады, танцевальных залов и дискотек

АКУСТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ МНОГОПОЛОСНЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Наибольшее распространение у зарубежных радиолюбителей получили двух- и трехполосные акустические системы. Нередко для дополнительного улучшения отдачи на нижних частотах корпус громкоговорителя снабжают фазоинвертором. Используют и другие приемы для улучшения характеристик громкоговорителей с двумя и тремя полосами разделения частоты сигнала

Двухполосный громкоговоритель со щелевым инвертором. Обычно отверстие инвертора имеет прямоугольную форму и размещается несколько ниже отверстия низкочастотной головки, как, например, в громкоговорителе на чертеже рис. 36. Поскольку фазоинвертор улучшает звучание только на нижних частотах, где направленность излучения практически отсутствует, для нормальной работы фазоинвертора несущественно место размещения отверстия, а также его форма. Главное, чтобы его площадь была равна примерно половине площади диффузора С учетом изложенного была предложена оригинальная конструкция двухполосного громкоговорителя со щелевым отверстием фазоинвертора, размещенным на задней стенке Конструкцию этого громкоговорителя можно уяснить по эскизу, приведенному на рис. 40.

Первая особенность конструкции громкоговорителя — щелевое отверстие шириной 25 мм и длиной 860 мм, т. е во всю длину задней стенки. Вторая особенность — призматическая форма корпуса: ширина лицевой панели 610 мм, задней — 190 мм. Нижняя и верхняя стенки имеют форму прямоугольника размерами 285×650 мм с двумя усеченными углами Это сделано для удобства размещения громкоговорителя на полу, в углу комнаты. Тем самым достигаются сразу две цели. Во-первых, громкоговоритель размещается в том месте комнаты, где он не мешает. Во-вторых, создается дополнительный подъем нижних частот на несколько децибелл за счет отражения сигнала от двух боковых стен и пола комнаты

Корпус громкоговорителя изготовляют из фанеры или древесно-стружечной плиты толщиной около 20 мм. Рейки для боковых распорок декоративного оформления тканью с поперечным сечением 50×50 мм — из сосны. Места соединения боковых стенок с верхней и нижней стенками укрепляют прямоугольными накладками с поперечным сечением 40×40 мм, изготовленными также из сосны Для устранения влияния отражения сигнала на средних и высших частотах внутри корпуса размещают простеганный слой натуральной или минеральной ваты толщиной не менее 50 мм. Такое покрытие должно быть выполнено по всей внутренней поверхности корпуса.

При повторении конструкции можно использовать низкочастотную головку типа 6ГД-2 и высокочастотную головку типа 3ГД-31, подогнав размеры отверстий на передней панели с учетом размеров диффузоров отечественных головок. При таком сочетании головок громкоговоритель способен эффективно воспроизводить сигналы в полосе частот от 40 Гц до 16 кГц. Подводимая мощность широкополосного сигнала может достигать 6—8 Вт. Разделительный фильтр должен иметь частоту разделения около 3 кГц.

На рис. 41,*а* приведена принципиальная схема разделительного фильтра для совместной работы с низкочастотной головкой сопротивлением 8 Ом и высокочастотной головкой сопротивлением 6,5 Ом При этом резистор *R1* необходим для выравнивания сопротивления нагрузки высоко- и низкочастотного выходов фильтра. Если использовать отечественную высокочастотную головку на 8 Ом, резистор *R1* необходимо исключить.

При изготовлении катушек можно применять картонные каркасы размера-

ми, указанными на рис. 41,*б*. При этом катушка *L1* должна содержать 100 витков, *L2* — 120 витков провода марки ПЭВ-2 диаметром 0,9—1,1 мм. Требуемые емкости конденсаторов *C1* и *C2* можно получить, соединив параллельно несколько конденсаторов типа МБМ на 160 В с емкостями 1,0, 0,5 и 0,1 мкФ.

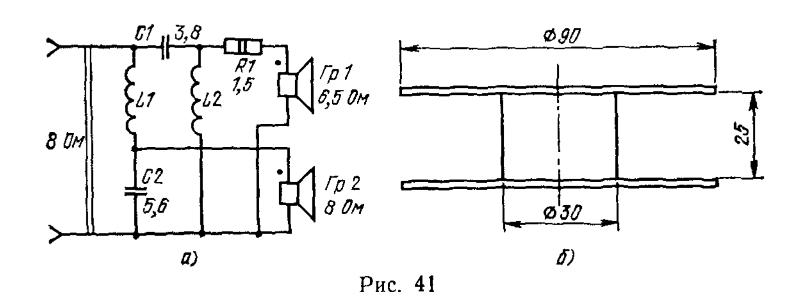


Рис. 41

Громкоговоритель с обратным экспоненциальным рупором. В настоящее время среди любителей и профессионалов большой популярностью пользуются так называемые малогабаритные акустические системы, сокращенно МАС Небольшие по размерам, удобные в обращении, обладающие широкой полосой воспроизводимых частот, они получают все более широкое распространение Правда, у них есть ряд недостатков. Самый существенный — относительно малая отдача во всей полосе частот. Для нормальной работы таких громкоговорителей требуется подводимая мощность около 10 Вт или более, тогда как для громкоговорителей обычного типа — в 2—3 раза меньше. Этот недостаток в какой-то мере компенсируется возросшей мощностью современных усилителей низкой частоты

У громкоговорителей МАС есть еще один недостаток, обусловленный специфическими нелинейными искажениями, создаваемыми диффузором Дело в том, что в таких громкоговорителях применяют специальные низкочастотные головки с очень легкой подвеской диффузора За счет этого собственная резонансная частота головок очень низка и достигает 10—15 Гц При установке головки в корпус с хорошей герметизацией резонансная частота ее увеличивается в 2—3 раза, достигая требуемого для высококачественного воспроизведения звука значения, равного 20—45 Гц Демпфирование диффузоров таких головок происходит за счет упругости воздуха, заключенного во внутреннем объеме корпуса громкоговорителя. При этом диффузор работает подобно поршню компрессора, попеременно сжимая и расширяя воздух внутри корпуса. По этой причине низкочастотные головки с легкой подвеской называют компрессионными или головками с воздушной подвеской диффузора.

Причина дополнительных нелинейных искажений, создаваемых низкочастотными головками МАС, заключается в том, что передняя и задняя поверхности диффузора этих головок имеют различные акустические сопротивления Передняя поверхность соприкасается с открытым пространством, а задняя поверхность — с воздухом, замкнутым в герметизированном корпусе громкоговорителя. Очевидно, что для устранения дополнительных специфических нелинейных искажений низкочастотных головок необходимо сравнять или хотя бы сблизить акустические сопротивления обеих поверхностей диффузора

В одном из журналов было опубликовано краткое описание двухполосного малогабаритного громкоговорителя, в котором значительно ослаблены нелинейные искажения указанного типа. При внешних размерах 195×236×300 мм и массе 4,9 кг громкоговоритель обеспечивает эффективное воспроизведение звука в полосе частот от 60 Гц до 16 кГц при номинальной подводимой мощности 10 Вт.

Суть усовершенствования заключается в использовании обратного экспоненциального рупора в качестве дополнительной акустической нагрузки для низкочастотной головки Рупор выполняют в теле передней панели громкоговорителя толщиной 20 мм, как показано на рис. 42,*а*. Вид передней панели с

фронтальной стороны показан на рис. 42,б. Внутренняя поверхность корпуса громкоговорителя обложена слоем ваты толщиной около 50 мм, а магнитная система головки дополнительно поджимается деревянной подпоркой, вставленной между задней стенкой и магнитной системой. Корпус громкоговорителя герметизируют нитроклеем, которым промазывают изнутри все стыки и соединения. Переднюю панель с фронтальной стороны обтягивают тонкой радиотканью, сам корпус обклеивают имитирующей пленкой или фанеруют ценными породами дерева

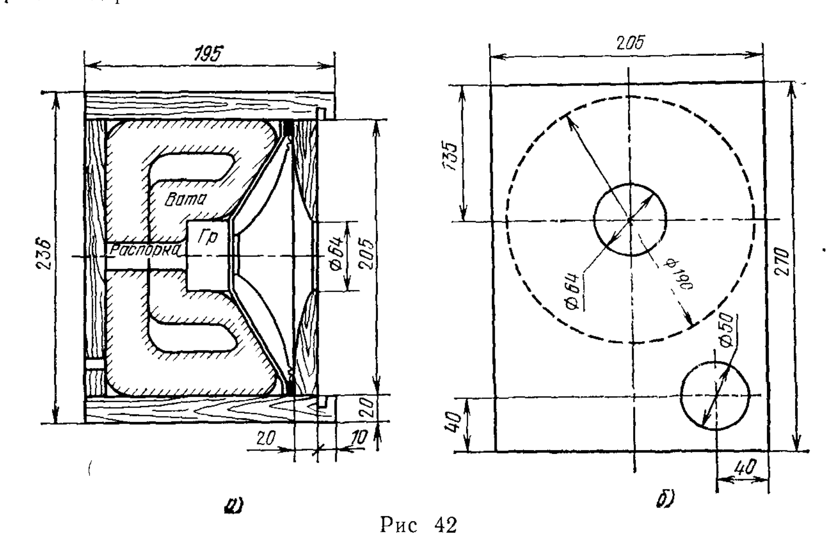


Рис 42

При повторении конструкции можно использовать компрессионную низкочастотную головку типа 6ГД-5 и высокочастотную головку 3ГД-31. Поскольку в данной конструкции рекомендуется применять разделительный фильтр с частотой разделения около 3 кГц, то можно воспользоваться данными рис. 31. Правда, головка типа 3ГД-31 имеет несколько бóльшие размеры, чем высокочастотная головка, примененная автором конструкции. Это потребует некоторой переделки передней панели. Но можно обойтись и без переделок, если использовать высокочастотную головку типа 2ГД-36

Применение головки типа 2ГД-36 позволяет расширить полосу эффективно воспроизводимых частот до 18—20 кГц. Правда, здесь есть одна особенность Некоторые образцы головок этого типа имеют относительно высокую частоту воспроизведения нижних частот — около 5—6 кГц. В связи с этим может потребоваться изменить частоту разделения с 3 до 6 кГц Для этого достаточно уменьшить число витков катушек *L1* и *L2* фильтра по схеме рис. 41 до 70 и 90 соответственно, уменьшив при этом емкости конденсаторов *C1* и *C2* вдвое

Громкоговоритель с расширенной диаграммой направленности. Наблюдения показали, что широкополосные и многополосные громкоговорители, у которых раскрывы диффузоров расположены в одной, обычно фронтальной плоскости, имеют один недостаток, обусловленный узостью диаграммы направленности излучения. Особенно заметна направленность в горизонтальной плоскости. Из-за этого сужается зона проявления стереоэффекта, ослабляется воспроизведение высших частот сигнала.

Для борьбы с этим недостатком применяются различные средства, в том числе включение дополнительных громкоговорителей, размещенных определенным образом относительно основных громкоговорителей, вынесение отдельно средне- и высокочастотных головок, сведение сигналов нижних частот стереофонической системы в один монофонический сигнал и т. п. Радиолюбительская практика показывает, что увеличение числа громкоговорителей загромождает

жилое помещение, приводит к увеличению числа соединительных проводников. Поэтому более целесообразным является создание таких громкоговорителей, которые обладали бы широкой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и не занимали бы много места.

На рис. 43,*а* приведены эскизы корпуса громкоговорителя, а на рис. 43,*б* — принципиальная схема его разделительного фильтра. Как видно из рисунка, громкоговоритель имеет по паре головок низкой и высокой частоты, включенных параллельно. Высокочастотные головки включены через простейший разделительный фильтр, состоящий из конденсатора *C1* и резисторов *R1* и *R2*.

Согласно описанию конструкции, низкочастотные головки рассчитаны на 15 Вт, высокочастотные — на 10 Вт каждая. Таким образом, громкоговоритель может быть применен для совместной работы с УНЧ до 30 Вт. Высокочастотные головки на мощность практически не влияют из-за относительно высокой частоты разделения полос, равной примерно 6 кГц.

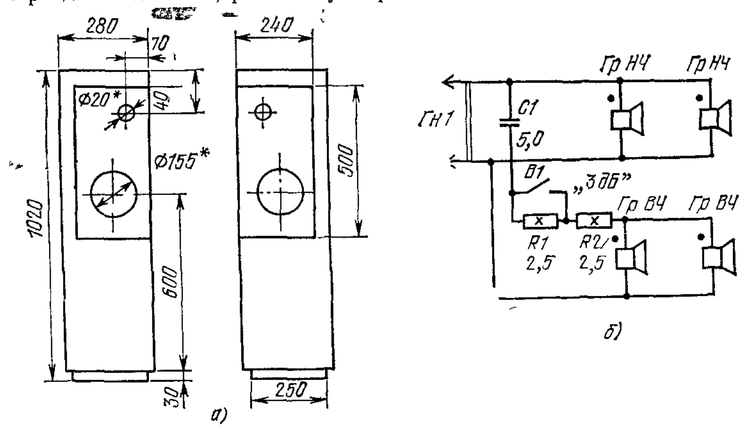


Рис. 43

Главным достоинством громкоговорителя является широкая диаграмма направленности излучения в горизонтальной плоскости, составляющая 270° на частотах вплоть до 12 кГц. Это достигается, как видно из рис. 43,*а*, размещением пар головок высокой и низкой частоты во взаимно перпендикулярных плоскостях, причем такое размещение четырех головок не увеличивает поперечного сечения корпуса громкоговорителя.

Особенностью фильтра (рис. 43,*б*) является наличие дополнительного резистора *R1*, замыкаемого контактами *B1*. При разомкнутых контактах амплитудно-частотная характеристика громкоговорителя равномерна во всей полосе воспроизводимых частот (от 60 Гц по 18 кГц). При замыкании контактов происходит дополнительный подъем отдачи на высших частотах (от 7 до 18 кГц) примерно на 3 дБ Такая коррекция может потребоваться в том случае, когда в помещении находится много мягких предметов· шторы, занавеси и другие материалы, сильно поглощающие энергию звуковых колебаний высших частот.

Своеобразное размещение головок в громкоговорителе открывает новые возможности для согласования размещения и взаимного положения громкоговорителей стереофонической установки с учетом акустики помещения. На рис. 44 показано, как этого можно добиться, развернув громкоговорители в горизонтальной плоскости. Так, если комната средних размеров, а стены недрапированные, то можно рекомендовать расположить громкоговорители так, как показано на рис. 44,*а*. При этом корпуса громкоговорителей могут быть придвинуты вплотную к боковым стенам. В такой же комнате с мягкими стенами (задрапированными) рекомендуется размещать громкоговорители не ближе 0,7 м от боковых стен (рис. 44,*б*).

Если комната узкая, то можно направить основное излучение громкоговорителей в сторону боковых стен. За счет переотражения и переизлучения от

стен удается получить эффект расширенной стереобазы (рис. 44,*в, г*). В помещении больших размеров, когда громкоговорители расставлены относительно далеко друг от друга, можно создать эффект сближения их, для чего необходимо направить основное излучение громкоговорителей навстречу друг другу (рис 44,*д, е*)

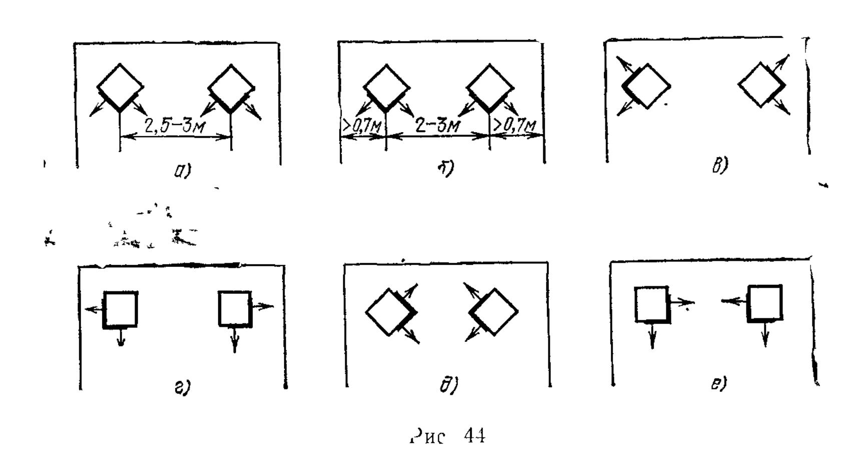


Рис 44

При повторении конструкции рекомендуется использовать для каждого экземпляра громкоговорителя по две головки типа 4ГД-4 или 4ГД-35 для низкочастотного тракта и две головки для высокочастотного При этом номинальная мощность сигнала, подводимая к громкоговорителю, может достигать 8 Вт При использовании головок типа 4ГД-35, паспортная мощность которых равна 8 Вт, допускаются кратковременные перегрузки до 16 Вт. Конечно, диаметр вырезов в панелях необходимо согласовать с размерами диффузодержателей отечественных головок

Следует заметить, что в последние годы появилось большое число любительских и профессиональных громкоговорителей, широкополосных и многополосных, в которых большая или меньшая часть излучения направляется в сторону стен помещения В громкоговорителе, о котором шла речь, на боковое излучение отводится в среднем около половины подводимой мощности Известны конструкции радиолюбителей, где из девяти однотипных широкополосных головок излучает во фронт только одна Остальные восемь имеют основное излучение, направленное в тыл, в сторону стены помещения, т е. на излучение в сторону слушателя расходуется только 11% мощности, подводимой к громкоговорителю. Правда, остальные 89% излучаемой мощности не пропадают бесследно Излучение вбок и назад, отражаясь от стен и пола, частично доходит до слушателя в виде рассеянного отраженного сигнала, восприятие которого создает иллюзию нахождения в просторном концертном зале. Меняя положение таких громкоговорителей относительно стен и пола, разворачивая их некоторым образом в горизонтальной плоскости относительно слушателя, можно добиваться наилучшего для данного помещения звучания электроакустической аппаратуры

Трехполосный громкоговоритель. О трехполосных громкоговорителях уже много говорилось ранее На рис 45 приведен эскиз конструкции трехполосного громкоговорителя. Корпус громкоговорителя изготовлен из древесно-стружечной плиты толщиной около 20 мм Дно у корпуса отсутствует. Между полом и боковыми стенками оставлена щель высотой около 25 мм и длиной 200 мм. Ее назначение — создание дополнительного синфазного излучения на нижних частотах воспроизводимого сигнала, подобно тому, как это делалось в громкоговорителе по чертежам на рис. 37.

Необычным является само размещение головок Так, среднечастотная головка установлена на верхней стенке Низко- и высокочастотные головки раз-

мещены на наклонной панели Обе панели, верхняя и наклонная, задрапированы тканью по контуру, обозначенному на рис 45 штриховой линией, создавая иллюзию классической прямоугольной формы корпуса громкоговорителя Такое размещение головок позволяет использовать хорошие отражающие и рассеивающие свойства относительно невысоких потолков современного жилища с целью получения пространственного, а не точечного источника звука

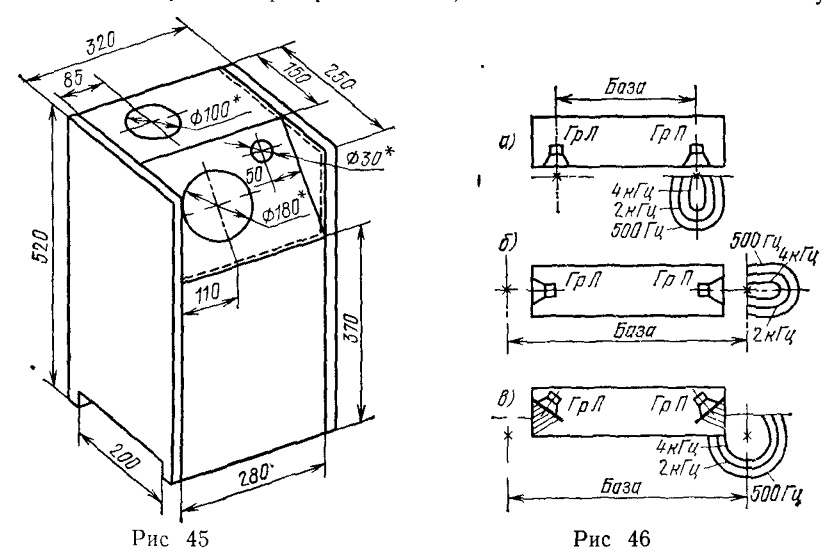


Рис 45 Рис 46

При повторении конструкции можно применить одну низкочастотную головку типа 4ГД-43, среднечастотную головку типа 4ГД-8Е и высокочастотную головку типа 3ГД-31 При этом следует соответственно изменить верхнюю и наклонную панели ящика Разделительный трехполосный фильтр можно выполнить по принципиальной схеме на рис 35,*а* с учетом данных рис 33,*а*, *б* и табл 7 При этом можно считать, что сопротивление всех головок одинаково и равно 4 Ом Для коррекции сопротивления высокочастотной головки параллельно ее выводам можно подключить постоянный резистор на 10—12 Ом С учетом вышеизложенного номинальная мощность, подводимая к громкоговорителю, может составлять 5 Вт

МОНОБЛОЧНЫЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ

Мы уже давно привыкли к тому, что стереофонические установки имеют как минимум два разнесенных громкоговорителя Как уже отмечалось, для дальнейшего улучшения звучания рекомендуется использовать четыре и более громкоговорителей Но, как показывает практика, наличие нескольких разнесенных громкоговорителей загромождает жилое помещение, опутывает его проводами, создает некоторые неудобства Поэтому у радиолюбителей и радиоконструкторов давно возникло желание создать моноблочные стереофонические громкоговорители, т е такие конструкции, в которых головки обоих каналов стереофонической системы размещались бы в одном корпусе

Следует отметить, что моноблочные стереофонические громкоговорители существуют давно в виде так называемых консольных радиол и радиокомбайнов высокого класса Такие установки по своим размерам превосходят порой старинные комоды Попытки уменьшить размеры моноблочных стереофонических громкоговорителей сталкиваются с трудностями сохранения размера стереобазы Дело в том, что стереоэффект проявляется в том случае, когда расстояние между громкоговорителями левого и правого каналов составляет 1,5—2,5 м, а сам слушатель находится на равном расстоянии перед громкоговорителями

(около 1—3 м) При размещении головок обоих громкоговорителей в одной плоскости база стереосистемы равна примерно расстоянию между центрами диффузоров головок различных каналов Поэтому уменьшая размеры корпуса, мы тем самым уменьшаем базу стереосистемы и снижаем проявление стереоэффекта

За рубежом известно несколько систем стереофонических громкоговорителей с уменьшенной базой Но прежде чем перейти к рассмотрению собственно конструкции, остановимся кратко на принципе ее действия, иллюстрируемом рис 46,*а*—*в*

На рис 46,*а* схематично изображено размещение головок в обычном моноблочном громкоговорителе консольной радиолы База системы, определяемая расстоянием между фазовыми центрами излучений головок левого и правого каналов, обозначенных двумя звездочками, несколько меньше длины громкоговорителя При таком расположении головок основное направление излучения на частотах сигнала совпадает с направлением на слушателя Для получения базы не менее 1,5 м длина корпуса должна быть около 2 м Если же сократить этот размер до 1 м, то стереоэффект будет проявляться только в непосредственной близости от громкоговорителя, на расстоянии около 1 м Это уже неудобно

База может быть расширена, если головки поместить на боковых стенках корпуса громкоговорителя, как показано на рис 46,*б* Но при этом основное направление излучения на средних и особенно на высших частотах будет ориентировано перпендикулярно направлению на слушателя Очевидно, что звук, обедненный средними и высшими частотами, не может доставить слушателю большого удовольствия

Для увеличеия базы моноблочного стереофонического громкоговорителя, с одной стороны, и сохранения достаточно мощного излучения на средних и высших частотах в сторону слушателя, с другой, необходимо разместить головки левого и правого каналов в торцевых стенках и частично развернуть их в горизонтальной плоскости на определенный угол в сторону слушателя В большинстве случаев именно так и поступают многие конструкторы Различаются такие громкоговорители лишь углами поворота головок и геометрическими размерами корпуса Но на рис 46,*в* приведен продольный разрез моноблочного стереофонического громкоговорителя, в котором кроме поворота головок введено усовершенствование, значительно расширяющее базу при одновременном сохранении направленности излучения в сторону слушателя в широкой полосе частот

Суть новшества заключается в том, что перед диффузорами головок помещают акустические волноводы — металлические пластины, изменяющие направление распространения звука, воспроизводимого головками, в сторону от слушателя Таким образом, здесь сказывается влияние двух факторов Во первых, поворот головки в сторону слушателя улучшает диаграмму направленности излучения в сторону слушателя Во вторых, отклонение звука в сторону от слушателя увеличивает базу системы При вполне определенном соотношении углов поворота головок и направленности акустических волноводов удается достичь расширения базы и сохранения требуемой направленности звучания В данном громкоговорителе при длине корпуса громкоговорителя 750 мм можно получить базу около 1,5 м

На рис 47 приведены эскизы общего вида лицевой панели и внутреннего вида любительского громкоговорителя, в котором реализован описанный выше принцип построения моноблочного стереофонического громкоговорителя Установка двух головок различных каналов в одном корпусе создает условия для улучшения акустической отдачи на нижних частотах как за счет возникновения эффекта группового излучателя, так и за счет принятия дополнительных мер — использования фазоинвертора с трубой, показанной на рис 47 Труба из картона диаметром и длиной 85 мм улучшает равномерность амплитудно-частотной характеристики установки в области нижних частот, расширяет полосу пропускания

Эффективность проявления стереоэффекта любительского моноблочного громкоговорителя по эскизам рис 47 во многом зависит от точности установки головок в корпусе и равномерности размещения пластин волноводов относи

тельно друг друга Корпус громкоговорителя выполняется из фанеры или древесно стружечной плиты толщиной 20 мм Внешние размеры корпуса 306×
×320×1030 мм, т е корпус громкоговорителя по своей форме и размерам напоминает настенную книжную полку Для обеспечения правильного повторения конструкции ее автор рекомендует следующую последовательность изготовления

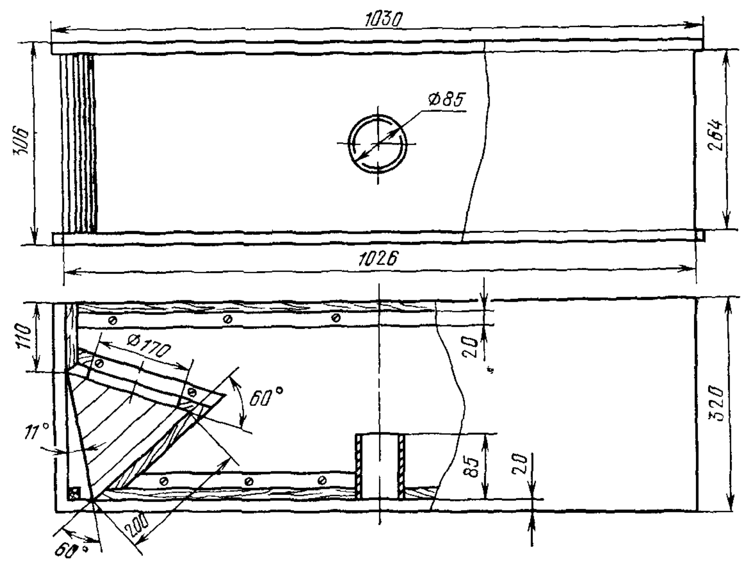


Рис 47

На листе миллиметровой бумаги строится в натуральную величину контур продольного сечения будущего корпуса громкоговорителя по размерам рис 47. Далее, на расстоянии 110 мм от обреза задней стенки проводится линия, идущая под углом 11° к контуру боковой стенки Из точки пересечения этой линии с контуром внешнего обвода лицевой панели под углом 60° к первой проведенной линии проводится вторая линия длиной 200 мм Затем из конца второй линии под углом 60° к ней проводится третья При условии точных построений третья линия должна проходить через точку, из которой были начаты геометрические построения В плане проведенные линии, пересекаясь, должны образовывать равносторонний треугольник со сторонами 200 мм Затем строится контур внутреннего обвода корпуса, размечаются отверстия под головку Аналогичные построения проводят на втором торце корпуса громкоговорителя

Пластины акустических волноводов делают из ровного листового дуралюмина толщиной 1,5 мм, высотой 266 мм При установке в пазы верхней и нижней крышек важно обеспечить их взаимное параллельное положение и равенство расстояний между ними Пластины должны быть параллельны глухой стенке, поставленной под углом к передней панели Головки устанавливают на стенках с круговым вырезом диаметром, равным диаметру диффузора по границе его склейки с диффузородержателем, за гофром Внутренняя поверхность корпуса покрывается слоем минеральной ваты толщиной 50—70 мм Автор конструкции применил также дополнительную стенку из ваты между каждой головкой и общим объемом воздуха в корпусе громкоговорителя Такие меры позволяют уменьшить влияние отражений звука внутри корпуса и исключить прямое воздействие головок друг на друга

При повторении конструкции рекомендуется применять отечественные широкополосные головки повышенной и нормальной чувствительности, например,

типа 4ГД 36 имеющие сопротивлеиие звуковых катушек 4 и 8 Ом При этом необходимо уточнить посадочные размеры и диаметр отверстия под раскрыв диффузора Для декоративного оформления корпуса используют тонкую радио ткань, которой обтягивают обе торцевые стеики и лицевую панель (одним кус ком) Верхняя и нижняя крышки фанеруют или покрывают имитирующей пленкой

По мнению автора конструкции, качество работы громкоговорителя высо кое При длине корпуса около 1 м база составляет более 1,7 м, т е данный моноблочный громкоговоритель по своим свойствам эквивалентен двум громкоговорителям разнесенным друг от друга на расстояние около 2 м К этому иеобходимо добавить, что громкоговоритель можно повесить на стену поста вить на него как на книжную полку, различные книги и журналы Качество работы громкоговорителя от этого не ухудшится

ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И СВЕТОАКУСТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОГИТАРЫ

Электрогитара является самым массовым и популярным среди молодежи музыкальным инструментом В отечественной радиолюбительской литературе описано много конструкции различных датчиков и приставок, предназначенных для улучшения работы электрогитары, усилителей мощности и громкоговори телей для озвучивания гитары Еще в 30 х годах на Всесоюзиых заочных ра диовыставках творчества радиолюбителеи конструкторов появились первые об разцы электрогитар Правда, усилительная и акустическая аппаратура тех лет была исключительно ламповая Но все же эффект исполнения на электрогита рах был необычным для слушателей А в конце 30 х годов при Всесоюзном радиокомитете был организован ансамбль электромузыкальных инструмеитов, в котором кроме виолены и терменвокса (инструментов, созданных еще в 20 х годах) звучали адаптаризованные, т е снабжеиные датчиками звукоснимате лями, виолончель и гавайская гитара

Бустер, фаз, дистоушер, вибрато, тремоло, . что это? Все эти и другие слова которые можно встретить в описаниях любительских конструкций прис тавок для электрогитар, означают специфическую окраску звучания электро гитары, которую дают ей приставки с такими названиями Поскольку в любительской литературе редко дается разбор характерных особенностей этих прис тавок, остановимся сначала на существе явлений, происходящих с электричес ким сигналом, поступающим с выхода датчика звукоснимателя электрогитары Сделаем это с помощью диаграмм напряжений на выходе датчика и выходах различных приставок, приведенных на рис 48 *а—е*

На рис 48,*а* дана диаграмма напряжения сигнала иа выходе датчика элек трогитары при возбуждении только одной струны По вертикальной оси ука зано напряжение по горизонтальной — время Сигнал имеет вид импульса определенной длительности с отиосительно быстро нарастающим фронтом и более медленным спадом У музыкантов время нарастания звука называется атакой Внутри импульса напряжение изменяется по почти гармоническому за кону с частотой, определяемой номером струны и ее действующей длиной Максимальные значения напряжений положительной и отрицательной полярности создают огибающую сигнала Кроме полезного сигнала, на выходе датчика, так же как и на входе усилителя, действуют внутрениие и наведенные извие помехи Эти помехи наиболее заметны при отсутствии сигнала, как и показа но на рис 48,*а*

Подавляющее большинство приставок к электрогитарам выполияют роль неличейных или линейных «искazителей» сигнала датчика «Исказители» ра ботают по принципу искажения огибающей исходного сигиала На английский язык «исказитель» переводится как фаз или дистоушер

Если при усилении и воспроизведеиии сигиалов с датчиков звукоснимате лей электрофонов и магнитных головок магиитофонов, с выходов детекторов радиоприемников мы стремимся уменьшить искажения сигнала, то здесь сигнал

искажается специально Причем чем больше он искажен, тем интереснее музыкальный эффект Такова природа и особенность электрогитары

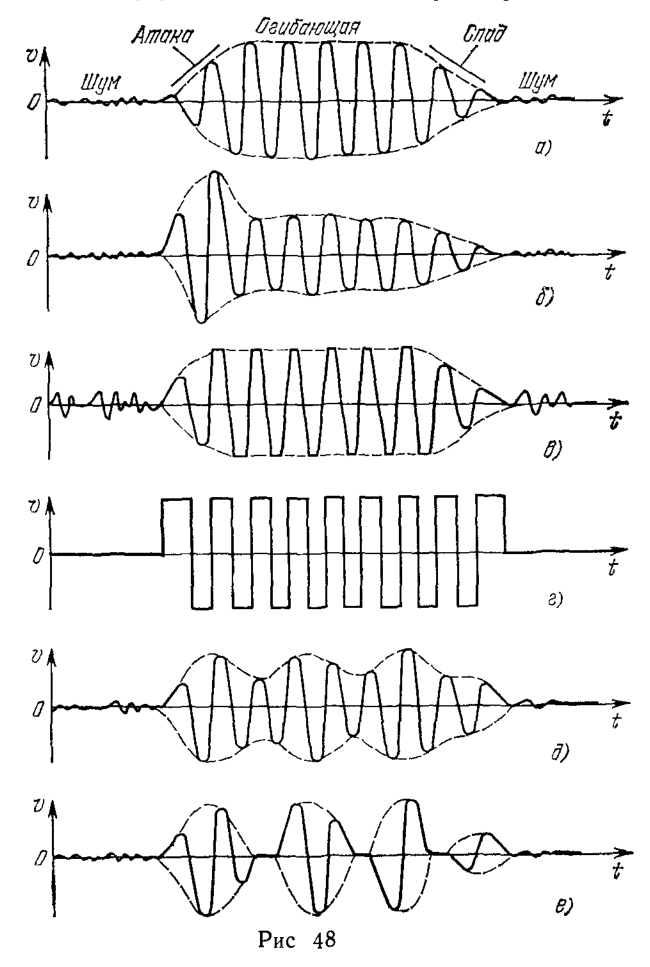


Рис 48

Все типы исказителей для электрогитар делятся на две группы — линейные и нелинейные Характерным признаком исказителей первой группы является то что они не вносят дополнительно частот, которые отсутствуют в исходном сигнале Эти приставки лишь изменяют распределение амплитуд частотных составляющих исходного сигнала, увеличивая амплитуды одних частот, уменьшая амплитуды других и полностью подавляя колебания третьих Линейных исказителей мало Наиболее известным из них является бустер, т е ускоритель атаки звука На рис 48,*б* показана диаграмма напряжения на выходе бустера при действии на его входе напряжения с датчика (рис 48,*а*) Из диаграммы видно, что бустер действительно уменьшает время нарастания звука Проявляется это в повышении динамики исполнения музыкального произведения на электрогитаре

Группа нелинейных «исказителей» многочисленна и разнообразна Характерным признаком таких приставок является то, что на их выходе появляются частоты, которых в исходном сигнале не было Приставки работают по принципу нелинейных преобразований напряжения сигнала, т е с применением

одно или двустороннего ограничения огибающей амплитудной, фазовой или частотной модуляции и др, а также их различных сочетаний

На рис 48,*в* показана диаграмма напряжения на выходе исказителя типа двустороннего ограничителя огибающей сигнала Как видно из рисунка, огибающая сигнала в течение значительного времени его существоваиия становится постоянной, а форма исходного гармонического сигнала изменяется Такие искажения амплитуды гармонического сигнала приводят к появлению на выходе частот, кратных основной частоте колебаний, гармоник Гармоники обогащают звучание электрогитары Из рис 48,*в* видно также, что из за уменьшения амплитуды полезного сигнала произошло относительное увеличение амплитуд шумовых выбросов В этом состоит недостаток исказителей типа ограничителя амплнтуды сигнала

От указанного недостатка свободны приставки, работающие по принципу триггера Шмитта Их достоинством является то, что они максимально насыщают выходной сигнал гармониками входного, преобразуя его в прямоугольные импульсы и ие реагируя при этом на помехи небольшой амплитуды Диаграмма напряжения на выходе дистоушера с триггером Шмитта приведена на рис 48,*г* Здесь иужно отметить, что исказитель этого типа применим лишь при исполнении произведений мелодией, а не аккордом В последнем случае наблюдается случайное во времени срабатывание триггера Шмитта, в результате чего звук принимает вид случайных помех, среди которых слабо прослушивается мелодия

Из всех перечисленных видов модуляции применяется главным образом амплитудная модуляция сигнала с выхода датчика электрогитары гармоническими колебаниями от дополнительиого генератора очень низких частот (обычно 1—5 Гц) При этом если глубина модуляции небольшая (огибающая сигнала не доходит до нуля), то такой эффект называется амплитудным вибрато Диаграмма напряжения на выходе подобной приставки приведеиа на рис 48,*д* В случае, когда глубина амплитудной модуляции велика и сигнал становится времеиами прерывистым вследствие перемодуляции, эффект называется тремоло На рис 48,*е* приведена диаграмма напряжения на выходе приставки тремоло Меняя глубину модуляции, а также частоту дополнительного генератора можно изменять звучание электрогитары в очень широких пределах При использовании эффектов амплитудного вибрато и тремоло звук становится вибрирующим, дрожащим

Заканчивая рассказ о возможных принципах действия исказителей, необходимо остановиться на приставке, которая создает звуковой эффект «Вау Вау» или «Ква Ква» Приставки, создающие такой эффект, электрогитаристы и радиолюбители конструкторы часто называют «квакушками» И вполне правильно, так как с их помощью звук становится «квакающим», с относительно низкой частотой повторения сигнала, регулируемой самим исполнителем или тонмейстером Приставки подобного типа являются как бы гибридами линейных и нелинейных исказителей От первых они заимствуют подчеркивание колебания с определенной частотой с помощью узкополосной избирательной системы от вторых — перестройку резонансной частоты избирательной системы в широких пределах (автоматически или по желанию исполнителя) На рис 49 приведена амплитудно частотная характеристика наиболее распространенной приставки этого типа Как видно из рис 49, подъем на желаемой частоте достигает 10 дБ, а полоса перестройки (качания) частоты составляет 300 Гц — 3 5 кГц

Бустер. На рис 50 приведена принципиальная схема одной из первых приставок которые были применены ансамблем «Битлз» из Великобритании Приицип действия приставки заключается в том, что в цепи базы транзистора *T1*, включенного по схеме с общим эмиттером, включена частотно зависимая цепочка, состоящая из последовательно соединенных резистора *R1* и катушки индуктивности *L1* На низких и средних частотах при выбраниых сопротивлении резистора *R1* и индуктивности катушки *L1* суммарное сопротивление определяется резистором На высших частотах, наоборот, сопротивление во много раз возрастает и зависит главным образом от индуктивности катушки и частоты сигнала чем выше частота, тем больше общее сопротивление, т е цепочка как бы поднимает коэффициент передачи входной цепи траизистора *T1* для

составляющих спектра сигнала, имеющих высокую частоту. А ведь именно самые высокие частоты определяют атаку звука. Чем шире их полоса и больше амплитуда, тем резче проводится атака. Для регулировки резкости атаки в зависимости от индивидуальных особенностей исполнителя и исполняемой программы резистор *R1* сделан переменным.

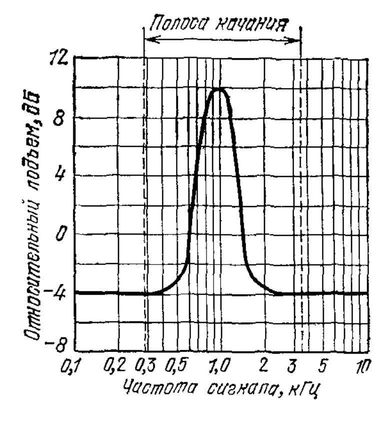


Рис 49

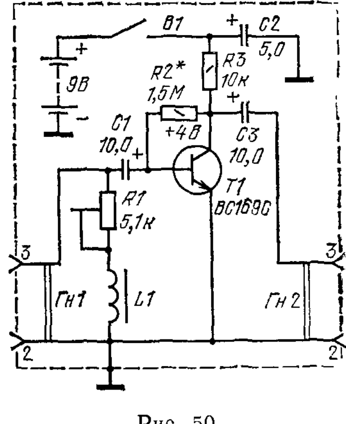


Рис 50

При повторении конструкции можно использовать кремниевый высокочастотный транзистор типа КТ315Г или КТ315Д, КТ312Б. В качестве катушки индуктивности используют первичную обмотку выходного трансформатора от любого карманного приемника. Питание производится от батареи «Кроиа ВЦ». Ее энергии хватает на 800 ч работы приставки, поскольку потребляемый ток не превышает 0,5 мА. Налаживание приставки сводится к подбору сопротивлеиия резистора *R2*, при котором постоянное иапряжение на коллекторе траизистора *T1* равио +4 В относительно эмиттера.

Если приставка будет эксплуатироваться самостоятельно, то ее элемеиты следует разместить в металлическом корпусе с внешними размерами 50×50×100 мм и сиабдить его разъемами типа СГ-3.

Фаз-приставка на диодах. На рис. 51 представлена принципиальная схема другой простой приставки, создающей фаз-эффект, т. е. подрезание амплитуды сигнала электрогитары Основой приставки является двусторониий амплитудиый ограничитель на диодах *Д1* и *Д2*. Входное напряжение с выхода датчика электрогитары подводится к гнезду *Гн1*, выходное напряжение снимается с гнезда *Гн2*. Каких-либо дополнительных источников питания не требуется. Уровень ограничения устанавливается автоматически, с помощью диодов и электролитических конденсаторов *C1*, *C2*. Чем больше амплитуда напряжения на входе, тем больше ток через диоды и выше напряжение на конденсаторах.

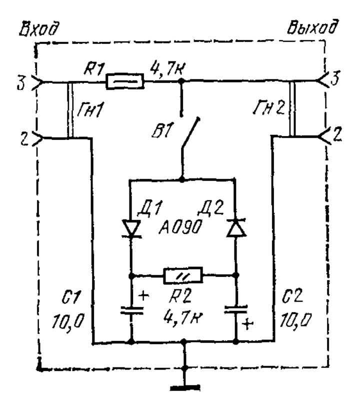


Рис. 51

Приставка (рис. 51) обладает определенным порогом срабатывания, определяемым типом диодов. В частности, при использовании в схеме германиевых высокочастотных диодов порог составляет около 10 мВ, т. е. при напряжении иа входе менее 10 мВ ограничеиие не наступает. При использовании кремниевых диодов приставка создает фаз-эффект при иапряжении сигиала на входе более 0,5 В. Поскольку выходное напряжение датчика электрогитары обычно

не превышает 30—50 мВ, то перед данной приставкой желательно включить дополнительный каскад усиления

Корпус приставки металлический с размерами 40×50×60 мм, снабжен двумя гнездами СГ-3. Включение приставки производят тумблером *В1*. Электролитические конденсаторы типа К50-3 или К50-6.

Дистоушер с компенсацией основных колебаний сигнала. На рис. 52 приведена принципиальная схема исказителя с переусилением, с помощью которого можно осуществить воспроизведение только гармоник основного колебаиия при полном или частичном подавлении исходных колебаиий. В приставке используются три кремниевых высокочастотных транзистора.

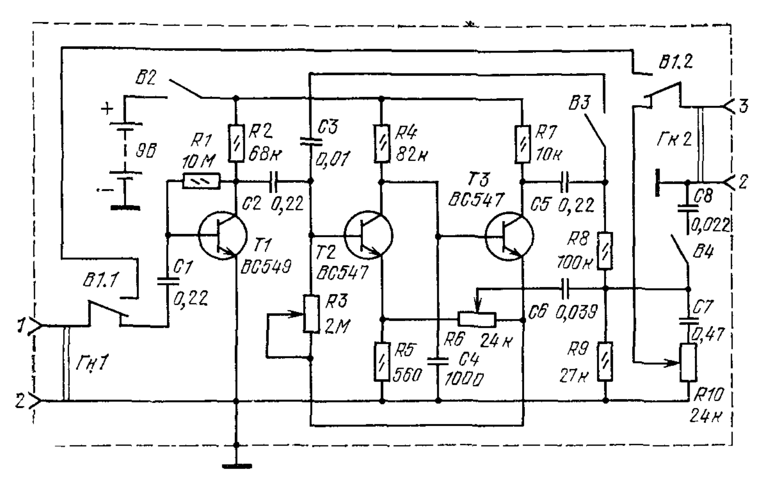


Рис 52

Приставка работает следующим образом. Входной сигнал с выхода датчика электрогитары поступает к гнезду *Гн1*. В зависимости от положеиия переключателя *В1 1* входной сигнал поступает либо непосредственно к выходному гнезду *Гн2*, либо на вход первого каскада приставки на транзисторе *Т1*. В коллекторной цепи транзистора включена высокоомная нагрузка сопротивлеиием 68 кОм В этом случае уже при входном сигнале несколько милливольт наступает переусиление, т. е. режим насыщения — отсечка тока в коллекторной цепи транзистора Далее искаженный сигнал двумя путями поступает на переменный резистор *R10*, с которого снимается выходной сигнал. Первый путь: переходной конденсатор *С3*, переключатель *В3*, резистор *R8*. Второй путь: переходной конденсатор *С2*, база транзистора *Т2*, работающего в режиме переусиления, с разделенной нагрузкой

Напряжение, инвертированное по фазе, снимается с коллектора и подается далее на базу транзистора *Т3*. Напряжеиие в фазе с напряжением на базе снимается с эмиттера и через резисторы *R6* и *R3* вновь поступает на базу транзистора *Т2* и одновременно с движка переменного резистора *R6* через конденсатор *С6* на переменный резистор *R10*. За счет противофазного сложения на резисторе *R10* искаженных колебаний наблюдается их компенсация, в частности подавление нечетных гармоник, включая первую, т. е. частоты входного сигнала.

В результате при полной компенсации на выходе приставки будут действовать только четные гармоники частот исходного колебания. Уровень выходного сигнала можно регулировать переменным резистором *R10*. Ограничеиие ширины спектра генерируемых гармоник производится переключателем *В4*, который шунтирует выход приставки конденсатором *С8*. Установка уровня ограничения в транзисторах *Т2* и *Т3*, а также глубины компенсации гармоник производится переменными резисторами *R3* и *R6* Переключатель *В2* коммутирует

источник питания напряжением 9 В. Включение компенсатора осуществляется тумблером *В3*. При его выключении приставка работает без компенсации как исказитель с переусилением.

При повторении конструкции следует использовать высокочастотные малошумящие кремниевые транзисторы, имеющие очень малый начальный ток коллектора и большое значение коэффициента передачи $h_{21Э}$. Для этой цели наиболее подходят транзисторы типа КТ342В, имеющие $h_{21Э}$=400—1000. Можно также применять транзисторы типа КТ315Г с $h_{21Э}$=70—350, отобрав из них образцы с $h_{21Э}$=100—200. Приставка потребляет ток не более 0,4 мА, поэтому ее можно питать от батареи «Крона ВЦ», энергии которой хватит примерно на 1500 ч работы приставки. Корпус приставки должен быть металлическим. Налаживание приставки сводится к подбору оптимальных положений движков переменных резисторов *R3* и *R6* при различных режимах работы приставки Здесь очень удобно использовать одинарные движковые переменные резисторы типа СП3-22б.

Дистоушер с триггером Шмитта. В последнее время линейные микросхемы стали проникать не только в приемную и усилительную аппаратуру, но и в исказители электрогитар. На рис. 53 дана принципиальная схема исказителя на триггере Шмитта, собранного на операционном усилителе в микроэлектронном исполнении (*ИМС1*). Как известно, триггером Шмитта называется такое электронное устройство, напряжение которого на выходе может иметь только два различных значения, однозначно определяемых соотношением напряжения сигнала на входе и напряжением порога срабатывания триггера. Если входное напряжение меньше порога, то выходное напряжение триггера имеет одно значение; при превышении — другое. Для данного случая входным напряжением являются гармонические колебания, поступающие на гнездо *Гн1* с выхода датчика электрогитары, напряжением порога — падение постоянного напряжения на резисторе *R3*. Меняя положение движка этого резистора, можно регулировать порог срабатывания триггера и тем самым управлять звучанием электрогитары.

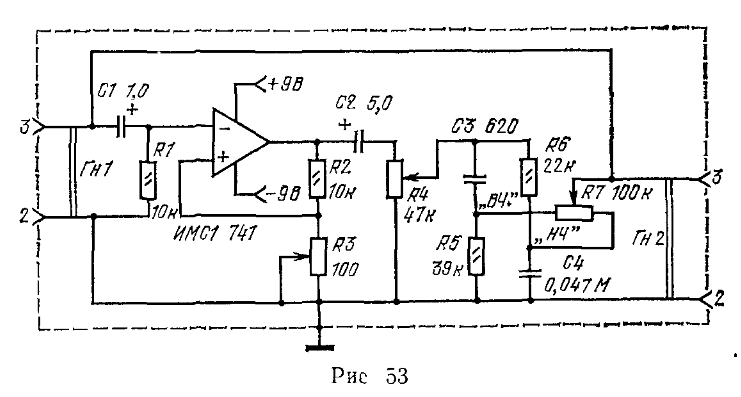


Рис 53

Выходное напряжение триггера при гармоническом сигнале на его входе имеет вид прямоугольных импульсов, следующих с частотой основных колебаний сигнала. Это напряжение через конденсатор *С2* подается на переменный резистор *R4*, регулирующий уровень искаженного сигнала, поступающего на вход простейшего двухканального регулятора тембра. Регулировка тембра производится переменным резистором *R7* Если движок резистора *R7* находится в крайнем правом положении (по схеме), то приставка будет подчеркивать первые гармоники сигнала (*НЧ*) Наоборот, если в крайнем левом положении — высшие гармоники (*ВЧ*). Очевидно, меняя положение движка, можно регулировать соотношение гармоник на выходе приставки.

Как видно из рис. 53, в приставке существует прямая связь входного гнезда *Гн1* и выходного *Гн2*. Это позволяет с помощью переменного резистора *R4*

менять глубину искажения сигнала в широких пределах и соотношения исходного и искаженного сигналов на выходе приставки.

При повторении конструкции можно использовать интегральную микросхему типа К1УТ553А. Желательно, чтобы переменные резисторы были ползункового типа, например, СП3-22б, причем *R3* и *R6* — группы А, *R4* — группы В Оба гнезда типа СГ-3. Источником питания могут служить две батареи типа «Крона ВЦ», включаемые с помощью двухполюсного тумблера (на рис. 53 не показан).

Следует напомнить, что исказитель с триггером Шмитта можно использовать только при исполнении мелодии, но не при игре аккордом.

Простая «квакушка». На рис. 54 приведена принципиальная схема, видимо, самой простой конструкции приставки, создающей эффект «Вау-Вау» или «Ква-Ква», называемой также «Квакушкой» или «Квакером». Устройство приставки очень несложно: имеется избирательный усилитель с двойным Т-образным мостом в цепи отрицательной обратной связи. В каскаде используется высокочастотный малошумящий кремниевый транзистор *T1*. Входной сигнал подается на базу транзистора *T1* с гнезда *Гн1* через конденсатор *C1* и резистор *R1*. Выходной сигнал снимается с коллектора транзистора и через переходный конденсатор *C6* поступает к гнезду *Гн2*. Плавная перестройка резонансной частоты каскада производится переменным резистором *R5*. Регулировка полосы пропускания и усиления — резистором *R2*. Питание от батареи, аналогичной отечественной батарее «Крона ВЦ», потребляемый ток не более 0,7 мА. Запаса энергии батареи может хватить на 800 ч работы.

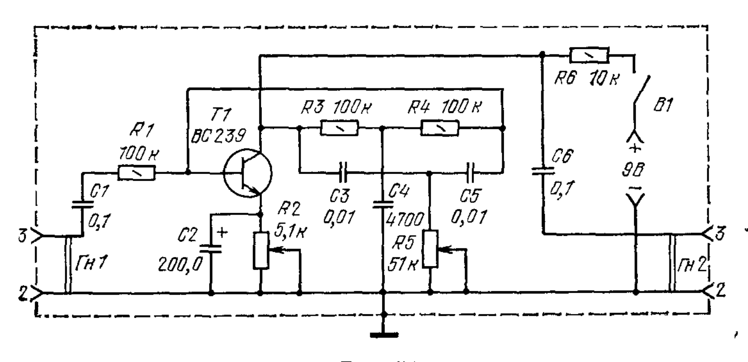


Рис. 54

При повторении конструкции можно применить транзистор типа КТ342В или КТ315Г с коэффициентом передачи $h_{21э} = 100$ и более. Корпус прибора должен быть металлическим.

Тремоло. Принципиальная схема приставки приведена на рис. 55. Основой приставки являются задающий автогенератор инфранизких частот на транзисторе *T1* и амплитудный модулятор на транзисторе *T2*. Генератор собран по схеме самовозбуждающегося избирательного каскада с двойным Т-образным мостом в цепи отрицательной обратной связи. Плавная перестройка частоты генератора производится переменным резистором *R1*.

Входное напряжение сигнала подается на транзистор *T2* через гнездо *Гн1*, резисторы *R10*, *R9*. Модулирующее напряжение снимается с коллектора транзистора *T1* и подается на базу транзистора *T2* через конденсатор *C6* и движок переменного резистора *R8*. Поскольку коллектор транзистора *T2* соединен с общим проводом, а между коллектором и эмиттером действует только переменное напряжение сигнала низкой частоты, транзистор *T2* ведет себя как ключ, управляемый модулирующим напряжением. Это значит, что в такт с инфранизкой (всего несколько герц) частотой транзистор *T2* будет замыкать и размыкать левый по схеме вывод резистора *R9* относительно общего провода Поскольку выходное гнездо *Гн2* подключено к общей точке резисторов *R10* и *R9* образующих делитель входного напряжения, то в такт с инфранизкой час-

тотой генератора будет меняться коэффициент передачи делителя напряжения между входным и выходным гнездами.

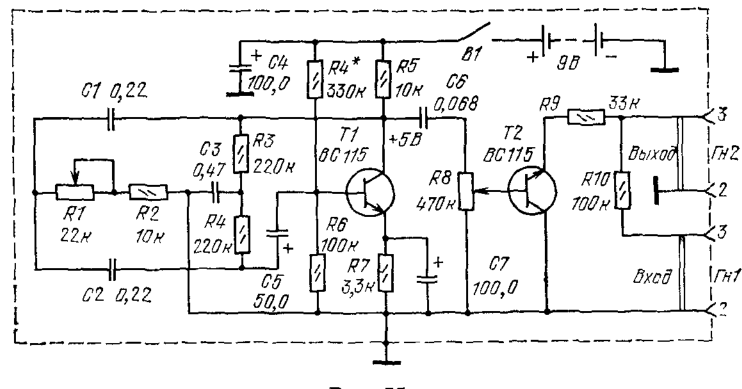


Рис. 55

Так, когда действует положительная полуволна, транзистор *Т2* открыт и сигнал на выходе приставки составляет примерно четверть от входного напряжения При действии отрицательной полуволны транзистор *Т2* закрыт и практически все входное напряжение с гнезда *Гн1* подается на гнездо *Гн2*. Правда, для этого необходимо, чтобы входное сопротивление последующего УНЧ было высоким — не менее 300—500 кОм.

Очевидно, меняя уровень модулирующего сигнала, снимаемого с движка переменного резистора *R8* и подаваемого далее на базу транзистора *Т2*, можно регулировать глубину модуляции сигнала, создавая различные музыкальные эффекты.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ312, КТ315 с буквенными индексами Б и Г Питание от батареи «Крона ВЦ». Потребляемый ток не более 0,5 мА. Установка режима работы транзистора *Т1* производится подбором сопротивления резистора *R4*.

Комбинированная приставка. Описанные выше приставки к электрогитаре создают каждая в отдельности свой собственный эффект. Сама же электрогитара позволяет применять одновременно несколько эффектов. Поскольку использование большого числа приставок для гитариста неудобно, на практике находят применение комбинированные приставки, в которых с помощью переключателей и плавных регулировок можно создавать последовательно или параллельно несколько эффектов. Один из возможных вариантов такой приставки называется тембровое вибрато Приставка позволяет создавать эффекты «Вау-Вау», амплитудного вибрато, тремоло. Принципиальная схема комбинированной приставки приведена на рис 56

Как видно из рис. 56, в приставке используются четыре кремниевых высокочастотных транзистора, работающих в режимах усиления, и один, *Т5*, — как модулятор Входной сигнал подается к гнезду *Гн1*, выходной снимается с гнезда *Гн2*. Транзистор *Т1* используется в избирательном УНЧ по схеме с двойным Т-образным мостом в цепи отрицательной обратной связи Для повышения стабильности и устойчивости усилителя используется развязывающий эмиттерный повторитель на транзисторе *Т2*, с части эмиттерной нагрузки которого снимается выходное напряжение приставки

Особенностью усилителя является то, что резонансная частота управляется транзистором *Т5*, коллектор которого подключен к общей точке конденсаторов *С4*, *С6* двойного Т-образного моста Начальное сопротивление коллектора транзистора *Т5* определяется постоянным напряжением смещения на его базе, которое, в свою очередь, регулируется переменным резистором *R19*. Таким образом, при перемещении движка переменного резистора *R19* одновременно меняется сопротивление коллектора транзистора *Т5* и вместе с ним резонансная

частота усилителя, т. е. переменным резистором *R19* можно вручную перестраивать резонансную частоту усилителя, создавая эффект «Вау-Вау».

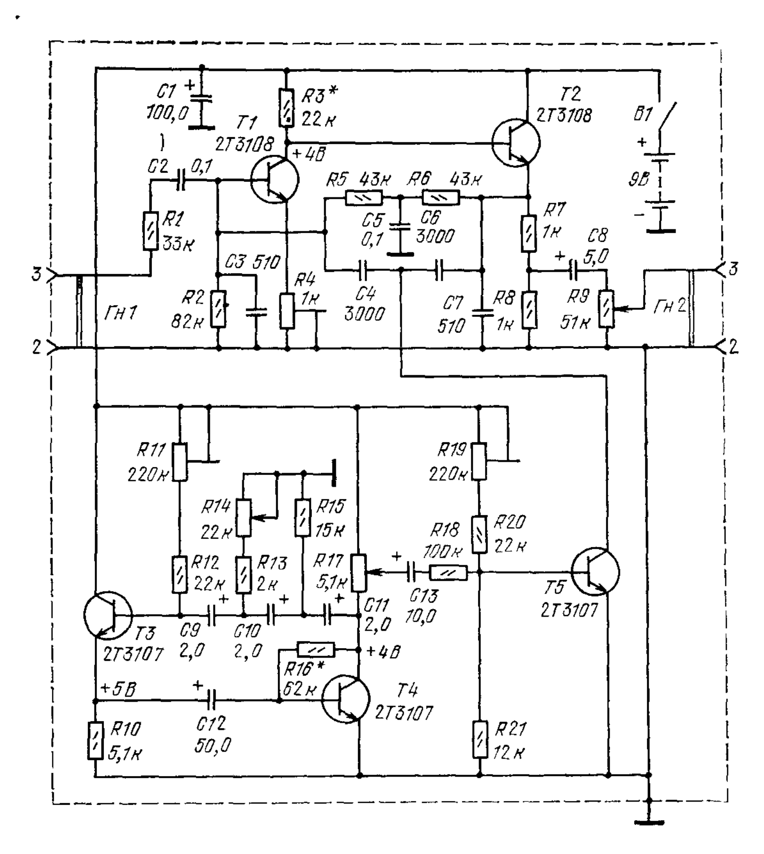


Рис. 56

Приставка позволяет также автоматизировать процесс перестройки усилителя по частоте, для чего имеется генератор инфранизкой частоты (всего несколько герц) на транзисторах *Т3* и *Т4*. Этот генератор собран по схеме с трехзвенным фазовращателем на 180° в цепи отрицательной обратной связи. Транзистор *Т3* играет роль развязывающего эмиттерного повторителя. Плавная перестройка частоты инфранизкочастотного генератора производится переменным резистором *R14*. Коррекция режима работы транзистора *Т3* — переменным резистором *R11*.

Выходное напряжение генератора инфранизких частот снимается с движка переменного резистора *R17* и подается через конденсатор *С13* и резистор *R18* на базу транзистора *Т5*, изменяя напряжение смещения. Чем ниже по схеме опускается движок, тем больше выходное напряжение, тем заметнее изменение сопротивления коллектора транзистора *Т5*. При небольшом выходном напряжении перестройка резонансной частоты усилителя в такт с частотой инфранизкочастотного генератора небольшая, эффект «Вау-Вау» слаб, зато заметен эффект амплитудного вибрато. С увеличением выходного напряжения генератора качание частоты усилителя увеличивается, заметнее становятся эффекты «Вау-Вау» и вибрато. При максимальном напряжении эффект вибрато переходит в тремоло.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ362В или КТ315В, КТ315Г. Переменные резисторы *R9*, *R17* и *R14* типа СП3-22б группы В. Переменные резисторы *R4*, *R11*, *R19* типа СП или СП-2, СПО. Гнезда *Гн1* и *Гн2* типа СГ-3. Источником питания может служить батарея типа «Крона ВЦ». При среднем значении потребляемого тока 7 мА срок ее службы составит около 80 ч.

Налаживание приставки производится следующим образом. После проверки правильности монтажа и устранения замеченных неисправностей включают питание и замеряют постоянное напряжение в точках, указанных на рис. 54. При отклонении измеренных значений от рекомендованных более чем на ±0,4—0,5 В производится коррекция режимов работы транзисторов подбором сопротивлений резисторов *R3* и *R16* для транзисторов *Т1*, *Т4* и подстройкой резистора *R11* для транзистора *Т3*. Затем на гнездо *Гн1* подается сигнал от электрогитары, к гнезду *Гн2* подключается вход электроакустической установки и переменным резистором *R4* производится регулировка полосы пропускания резонансного усилителя. Переменным резистором *R19* находится наиболее эффектное значение резонансной частоты усилителя. Далее при выведении движка переменного резистора *R17* в среднее положение производится установка частоты генератора на транзисторе *Т3*.

Конструктивно приставка может быть оформлена в виде небольшого блока или педали.

Стереофоническая электрогитара. В первом издании книги подробно описывалось устройство датчика для получения стереофонического сигнала электрогитары. По отзывам читателей, создать такой датчик оказалось непросто из-за хрупкости чувствительных элементов из пьезокерамики. При этом оказалось, что стереофоническое звучание электрогитары можно обеспечить и магнитными датчиками, которых на современной гитаре несколько. Обычно гитарист или оператор включает эти датчики последовательно во времени. Но если выходы двух датчиков одной гитары подключить ко входам канальных усилителей стереофонической установки, то звучание электрогитары приобретет новое, более объемное звучание. Для этого не требуются специальные установки, достаточно иметь стереофонический усилитель с громкоговорителями мощностью 10—15 Вт на канал.

Как уже отмечалось, электрогитара является самым массовым, но не единственным электромузыкальным инструментом. Существует большое число современных электромузыкальных инструментов, действующих по принципу синтезаторов звуков, точнее электрических сигналов, которые соответствуют вполне определенным звукам. В них нет струн, мехов, мундштуков и сурдинок, так же как и барабанных палочек, но создаваемые ими электрические сигналы, поданные на входы электроакустических установок, превращаются в звуки органа, большого турецкого барабана или гавайской гитары, контрабаса или тамбурина. Трудно назвать музыкальные инструменты, звуки которых нельзя было бы получить с помощью синтезаторов сигналов и электроакустики. Среди синтезаторов есть очень сложные, включающие быстродействующие электронные вычислительные машины, но есть и совсем простые, содержащие по два-три транзистора. О таких несложных синтезаторах сигналов и пойдет речь в следующем параграфе.

ПРОСТЫЕ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Электронный барабан. Читателю хорошо известно, какими громоздкими и неудобными для перевозки в городском общественном транспорте являются басовые музыкальные инструменты и барабаны. Нельзя ли сделать их поменьше, чтобы можно было переносить в портфеле или даже кармане? Современная полупроводниковая техника все может. Создание электронных барабанов, как, кстати, и всех других электромузыкальных инструментов, начиналось с исследования диаграмм звуковых сигналов. С помощью микрофонов, УНЧ и электронных осциллографов установили, что звук барабана представляется в виде электрического сигнала, показанного на рис. 57. Огибающая сигнала имеет крутой фронт, обусловленный ударом, и медленно затухающий спад, определяемый резонансными свойствами барабана. Частота заполнения может нахо-

диться в пределах 10—400 Гц, что зависит от размеров и конструктивных особенностей того или иного инструмента.

Специалистам по радиоэлектронике хорошо известно, что электрические сигналы, подобные по форме приведенным на рис. 57, могут генерировать контуры ударного возбуждения и заторможенные автогенераторы низкой частоты в момент подачи на них запускающего импульса. На рис. 58 приведена принципиальная схема электронного барабана, собранного на двух транзисторах и двух диодах.

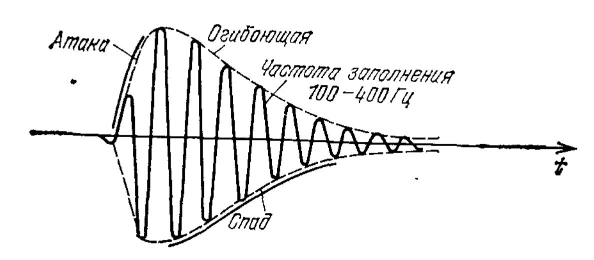


Рис. 57

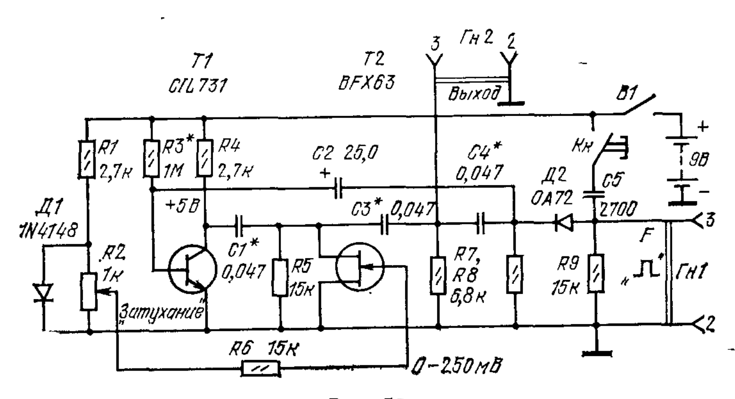


Рис. 58

Основой инструмента является генератор низкой частоты, собранный на транзисторе *Т1* по схеме с трехзвенным фазосдвигающим фильтром на 180° в цепи обратной связи. Значение генерируемой частоты определяется емкостями конденсаторов *С1*, *С3*, *С4* и может находиться в пределах 100—400 Гц. Ждущий режим работы в недовозбужденном состоянии генератора достигается тем, что резистор *R5* фазосдвигающей цепи дополнительно шунтируется сопротивлением канала полевого транзистора *Т2*. В свою очередь, сопротивление канала полевого транзистора регулируется переменным резистором, меняющим напряжение положительного смещения на затворе транзистора *Т2*. И чем больше напряжение смещения, тем меньше сопротивление канала, следовательно, тем круче спад огибающей сигнала, тем быстрее затухает звук барабана Исходное напряжение для смещения обеспечивается простейшим стабилизатором на резисторе *R1* и германиевом диоде *Д1*

Запуск генератора может производиться вручную и автоматически по синхронизирующим импульсам, поступающим извне. Для того чтобы «ударить» по электронному барабану, достаточно нажать пальцем на кнопку *Кн*. При этом через конденсатор *С5* и диод *Д2* на базу транзистора *Т1* пройдет импульс напряжения положительной полярности, который возбудит генератор. Длительность генерируемого сигнала, как уже говорилось, зависит от положения движка переменного резистора *R2*. Для повторного «удара» по барабану необходи-

мо отпустить кнопку и потом вновь ее нажать. Выходное напряжение электронного барабана снимается с резистора *R7* и подается к гнезду *Гн2*. Далее сигнал усиливается и воспроизводится электроакустической установкой. Барабан данной конструкции можно прослушивать либо через громкоговорители на 10—20 Вт, либо через головные телефоны.

Автоматический режим электронного барабана достигается подачей синхронизирующих импульсов положительной полярности напряжением 5—10 В на гнездо *Гн1*. Для этого необходим отдельный тактовый генератор, задающий основной темп исполнения музыкального произведения. При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ312Б или КТ315Б (*Т1*), КП302А (*Т2*), диоды типа Д7Б (*Д1*) и Д9В, Д18, Д20 (*Д2*) В зависимости от требуемой частоты заполнения емкости конденсаторов *С1*, *С3*, *С4* могут меняться от 0,022 до 0,1 мкФ (все одновременно).

Налаживание сводится к установке режима работы транзистора *Т1* по постоянному току, что достигается подбором сопротивления резистора *R3*. Потребляемый ток около 4 мА. Энергии батареи «Крона ВЦ» хватит на 250 ч работы. Желательно поместить электронную часть барабана в металлический корпус, снабженный двумя гнездами типа СГ-3. Если изготовить несколько конструкций по схеме на рис. 58, но с различными емкостями конденсаторов *С1*, *С3*, *С4*, то можно получить набор электронных барабанов с различной частотой и окраской звучания. Причем каждый из барабанов (без электроакустической установки) может поместиться в кармане.

За рубежом опубликовано большое число описаний различных ударных инструментов, работающих по изложенному принципу. Среди них есть бубны, гонги, там-тамы, тамбурины и т. д. Описанием электронного тамбурина и закончим рассмотрение электронных ударных инструментов.

Электронный тамбурин. Как указано в энциклопедии, тамбурином называется разновидность барабана, близкого к бубну, распространенного в ряде стран, в особенности во Франции в провинции Прованс. Тамбурин был извес-

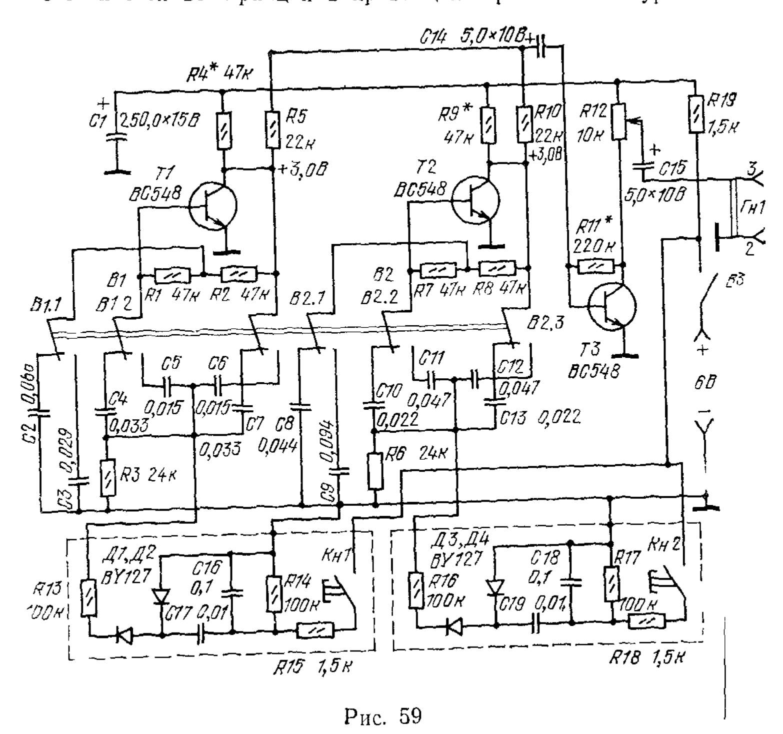


Рис. 59

тен давно, сотни лет назад. Теперь он рождается вновь благодаря достижениям техники. На рис 59 приведена принципиальная схема двухтонального тамбурина, разработанного бразильским инженером-радиолюбителем Основой конструкции, как это видно из рис. 59, являются два ждущих генератора низкой частоты на транзисторах *Т1* и *Т2*. Отличие их от предыдущей схемы состоит в том, что в качестве избирательной системы здесь используются двойные Т-образные мосты, а не трехзвенная фазосдвигающая цепочка.

Выходные сигналы обоих генераторов равного значения подаются через развязывающие резисторы *R5* и *R10* на базу транзистора *Т3*, где они складываются, усиливаются и в виде одного сигнала поступают на выходное гнездо *Гн1*. С него сигнал идет на усиление и воспроизведение электроакустической установкой мощностью 5—10 Вт.

Характерной особенностью описываемого инструмента является наличие двух генераторов, которые могут включаться поочередно (при игре мелодией) или одновременно (при игре аккордом). Кроме того, каждый генератор имеет переключатель частот на два положения, соответственно *В1* и *В2* Таким образом, меняя манеру игры и переключая генерируемые частоты, можно значительно обогатить звучание тамбурина на транзисторах.

Для произведения «удара» по тамбурину необходимо нажать, точнее сказать, прикоснуться кончиками пальцев к одной из двух пластин, помещенных на передней панели инструмента. На рис. 60,*а* приведены эскизы передней панели корпуса инструмента, на рис 60,*б* — конструкции контактов управляющих пластин *Кн1*, *Кн2*, играющие роль «рабочих» поверхностей ударного инструмента. Высота корпуса около 100 мм, размеры панели 160×220 мм. Контакт наступает при касании конца винта М4 медной проводящей поверхностью мембраны, выполненной из тонкого фольгированного гетинакса или текстолита Мембрану устанавливают на внешней поверхности металлического корпуса инструмента с помощью фторопластового изолятора толщиной 8—10 мм. В корпусе инструмента делают отверстие диаметром 10—15 мм, которое закрывают изнутри изолирующей прокладкой, закрепленной двумя винтами М3. В отверстие, находящееся в центре прокладки, вставляют винт М4, положение которого фиксируют двумя гайками М4. Под нижнюю гайку подкладывают монтажный лепесток. Меняя положение винта М4, можно подобрать такой за-

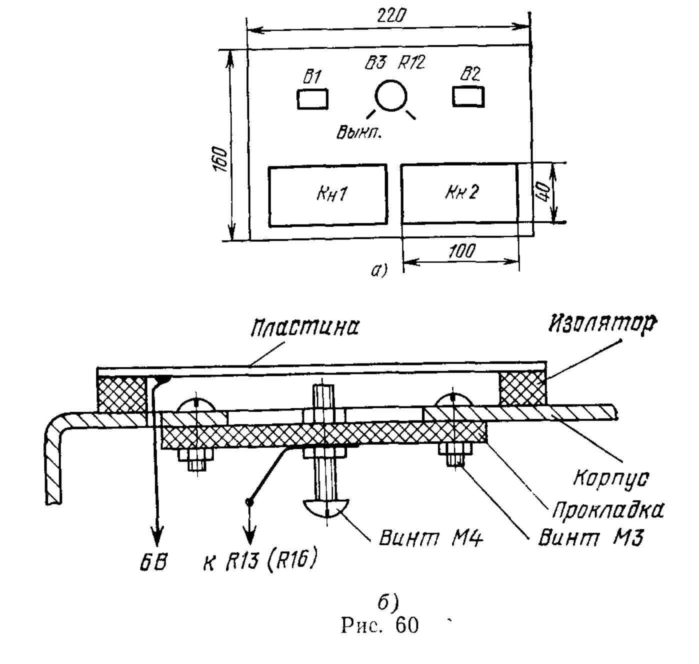


Рис. 60

зор между медной поверхностью мембраны и концом винта, при котором даже при незначительном надавливании пальцем на мембрану можно обеспечить запуск генератора

Форма запускающих импульсов задается с помощью специальных цепей, содержащих диоды *Д1—Д4* Для устранения нежелательных наводок и помех элементы формирующих цепей экранируют Применение сложной схемы формирования запускающих импульсов связано с необходимостью придания атаке сигнала более мягкой формы Так же как и раньше, источником исходного напряжения запускающего импульса является гальваническая батарея

Играть на электронном тамбурине несложно Поворотом оси переменного резистора *R12* слева направо включается питание инструмента, выходное гнездо *Гн1* с помощью соединительного кабеля подключается к гнезду звукоснимателя приемника, магнитолы или радиолы, которая будет воспроизводить звуки Теперь достаточно прикоснуться кончиками пальцев к пластинам *Кн1*, *Кн2*, чтобы услышать звуки электронного тамбурина Для изменения тональности звучания необходимо воспользоваться переключателями *В1* и *В2* Уровень громкости звучания можно регулировать переменным резистором *R12* и регулятором громкости электроакустической установки Хорошие результаты дает также использование регуляторов тембра той же установки

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ315Б, КТ315Г (*Т1*, *Т2*), КТ312Б (*Т3*) и диоды типа Д220 (*Д1—Д4*). Переменный резистор *R12* типа СП3-4б группы В, совмещенный с выключателем питания *В3* Переключатели *В1* и *В2* типа П2К на четыре или шесть положений каждый Конденсаторы постоянной емкости пленочные или керамические, с разбросом не более ±10% Конденсатор *С2* состоит из двух конденсаторов (по 0,033 мкФ), включенных параллельно Конденсатор *С3* состоит из трех, также соединенных параллельно одного на 0,02 мкФ и двух по 4700 пФ

Желательно, чтобы транзисторы *Т1* и *Т2* имели близкие значения коэффициента передачи $h_{21Э}$ Коррекция режимов работы транзисторов *Т1—Т3* может быть произведена подбором сопротивлений резисторов *R4*, *R9* и *R11* соответственно Электролитические конденсаторы типа К50 6 или К50-12 Гнездо *Гн1* типа СГ 3 или СГ 5 Источником питания может служить батарея, состоящая из четырех гальванических элементов 316 или 343, 373, запаса энергии которых хватит на сотни часов работы электронного тамбурина

ИМИТАТОРЫ ГОЛОСОВ ПТИЦ И ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Электронная канарейка. В Японии и США появились в продаже искусственные канарейки внешне очень похожие на натуральных и издающие трели, близкие по своему звучанию к голосам настоящих канареек Источником этих трелей является миниатюрный транзисторный синтезатор звуков, воспроизводимых малогабаритным громкоговорителем, вмонтированным вместе с электронной схемой в поддон клетки

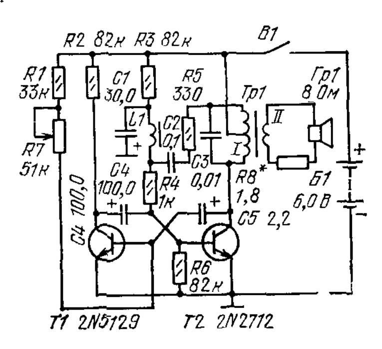


Рис 61

На рис 61 приведена принципиальная схема электронной канарейки японского производства Устройство представляет собой блокинг генератор на транзисторе *Т1*, который генерирует импульсы малой длительности Время работы генератора определяется полупериодом повторения колебаний мультивибратора, работающего на транзисторах *Т1* и *Т2* Имитация пения канарейки достигается за счет того, что частота импульсов блокинг генератора непрерывно меняется за время полупериода колебаний мультивибратора

У опытного радиолюбителя может возникнуть сомнение относительно правильности включения конденсатора *С1*, т е плюсом на минусовую шину питания, а минусом через резистор *R3* к плюсо-

вой шине питания. Кажется, что должно быть наоборот Но это не так Полярность конденсатора *C1* указана правильно, так как во время работы блокинг-генератора конденсатор заряжается до требуемого значения отрицательного напряжения, необходимого для создания сигнала, изменяющегося по частоте.

При изготовлении электронной канарейки рекомендуется использовать транзисторы типа КТ315Б, КТ315Г (*T1*) и МП37, МП38, МП38А (*T2*) А можно ли обойтись транзисторами одного типа, более доступными, например, только германиевыми транзисторами типа МП37 или МП38, МП38А? Практика показала что это вполне допустимо и может быть рекомендовано при повторении конструкции

В качестве катушки индуктивности *L1* и трансформатора *Тр1* можно использовать соответственно согласующий и выходной трансформаторы от любого карманного или переносного транзисторного приемников «Сокол», «Ласточка», «Альпинист», «Спидола», «ВЭФ 202» и многих других Первичная обмотка трансформатора *Тр1* (выходного) включается частично в цепь коллектора транзистора *T2*, а его вторичная обмотка нагружена динамической головкой громкоговорителя *Гр1* мощностью 0,1—0,5 Вт Здесь подойдет любая головка от карманного приемника Если позволяют размеры клетки, то можно использовать головки больших размеров, например типа 0,5ГД 30, 0,5ГД-31, 1ГД-40 и т п.

Электролитические конденсаторы могут быть типа К50 6 на рабочее напряжение 10 В Резистор *R8* проволочный, самодельный, он устраняет влияние звуковой катушки головки на работу блокинг генератора При подборе сопротивления этого резистора следует учитывать, что с уменьшением сопротивления возрастает громкость звучания, но усиливается влияние параметров катушки головки на частоту блокинг генератора, что нежелательно

Для питания «канарейки» можно использовать батарею, составленную из четырех гальванических элементов 316 или 343 Налаживание сводится к подбору такого положения движка переменного резистора *R7*, при котором достигается звучание, наиболее близкое к трелям канарейки

Описанная конструкция электронной канарейки может применяться в качестве дверного звонка или увлекательной игрушки для детей

Электронная кукушка. На рис 62 приведена принципиальная схема синтезатора электрического сигнала сложной формы, воспроизведение которого с помощью простого УНЧ и динамической головки создает имитацию кукования

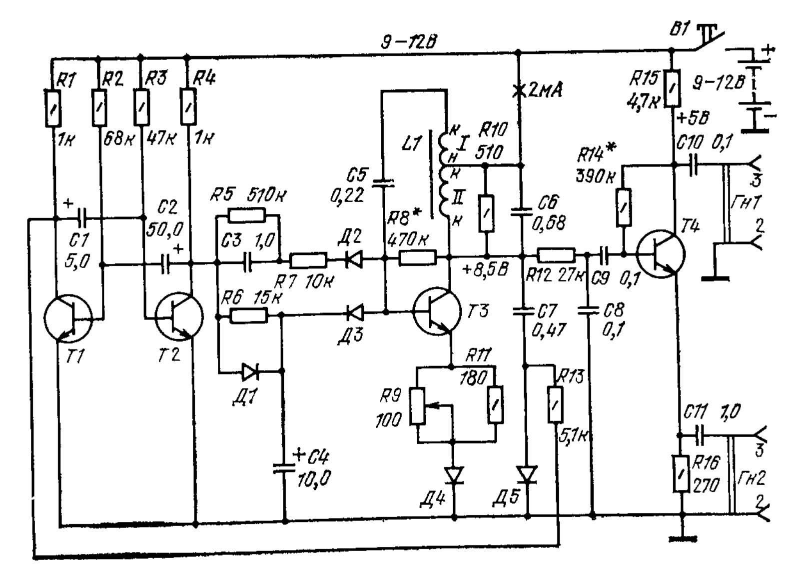


Рис 62

кукушки Схема электронной кукушки оказалась настолько популярной, что ее можно встретить на страницах радиолюбительских журналов многих стран

Принцип действия электронной кукушки основан на одновременной сов местной работе двух генераторов колебаний импульсной формы низкой часто ты и гармонической формы более высокой частоты Генератор импульсных ко лебаний собран на транзисторах *Т1* и *Т2* по схеме мультивибратора Генератор гармонических колебаний выполнен на транзисторе *Т3* по схеме с индуктивной обратной связью Генератор импульсных колебаний необходим для изменения тональности генератора гармонических колебаний при подаче второго звука в сочетании «Ку Ку» Кроме того, чтобы звуки различались и длительностью (второй дольше первого), емкости конденсаторов *С1* и *С2* мультивибратора различаются в 10 раз

Основными элементами, определяющими работу генератора гармонических колебаний, являются транзистор *Т3*, катушка индуктивности с отводом *L1* за шунтированная конденсатором *С6*, резистор смещения в цепи базы транзистора *Т3* — *R8*, конденсатор обратной связи *С5* Все остальные элементы, располо женные вправо от коллектора транзистора *Т2* вплоть до конденсатора *С9*, яв ляются дополнительными, введенными для придания генерируемым сигналам еще большей близости к голосу кукушки, а также для стабилизации парамет ров генератора

Напряжение сигнала с коллектора транзистора *Т3* через корректирующую цепочку *R12C8C9* подается на базу усилительного каскада по схеме с разде ленной нагрузкой В соответствии со схемой этого каскада имеются два вы ходных гнезда Первое *Гн1* обеспечивает выходное напряжение сигнала около 3 В Гнездо предназначено для подачи сигнала непосредственно на вход усили теля мощности, минуя каскады предварительного усиления Второе гнездо *Гн2* обеспечивает выходное напряжение около 0,2 В, т е в 15 раз меньше, чем первое Гнездо предназначено для подачи сигнала на вход звукоснимателя приемника или радиолы либо другого электроакустического устройства Выход гнезда *Гн2* имеет то преимущество, что он позволяет передавать сигнал от имитатора к основному усилителю по кабелю длиной несколько десятков мет ров практически без искажений

При повторении конструкции следует учитывать, что в ней первоначально использовались кремниевые низкочастотные транзисторы, близкие к транзисто рам типа МП112 с $h_{21Э}=50$ и более Практика показала, что возможно при менение транзисторов типа МП111, МП37, МП38 МП38А с $h_{21Э}=30$ и более Все диоды должны быть германиевыми типа Д18, Д20 Можно использовать также диоды типа Д9Д Переменный резистор *R9*, используемый для регули рования тембра звучания имитатора, можно взять типа СП или СП 2 Электро литические конденсаторы типа К50-6 или К50 3, К50 12 на рабочее напряже ние 10—15 В Гнезда *Гн1* и *Гн2* типа СГ 3 Источником питания может слу жить батарея составленная из шести восьми элементов типа 343 или 373 Пот ребляемый ток около 13 мА

Налаживание сводится к установке режимов работы транзисторов *Т3* и *Т4* по постоянному току Подбором сопротивления резистора *R8* добиваются прият ного звучания имитатора, которое наблюдается обычно при токе коллектора генератора 2 мА Подбором сопротивления резистора *R14* устанавливается ре жим работы транзистора *Т4*. В дальнейшем изменение тона звучания достига ется регулировкой переменного резистора *R9*

Работа имитатора зависит от индуктивности катушки *L1* Рекомендуется использовать для этой цели выходной трансформатор от карманного или пере носного приемника, соединив первичную и вторичную обмотки так, как пока зано на рис 62 (начало одной обмотки с концом другой) Первичная обмотка включается в цепь коллектора транзистора *Т3* вторичная используется в каче стве катушки положительной обратной связи

Судя по рекомендациям, которые сопровождали описание конструкции электронной кукушки на страницах радиолюбительских журналов многих стран мира применение имитатора может быть самым разнообразным и неожидан ным Одни рекомендуют применять электронную кукушку совместно с будиль ником, имеющим электрический контакт Другие советуют использовать ими татор для озвучивания входной двери вместо резкого электрического звонка

действующего людям на нервы Есть предложения включать электронную кукушку просто так, для отдыха от городского шума

Комбинированный имитатор голосов птиц Описанные выше и многие другие имитаторы птичьих голосов воспроизводят голос какой нибудь одной птицы Есть, например имитаторы трелей соловья, клекота хищных птиц и т п А нельзя ли сделать имитатор который мог бы по нашему желанию создавать сигналы, повторяющие голоса различных птиц? На рис 63 приведена принципиальная схема комбинированного имитатора голосов различных птиц

Как видно из схемы, имитатор собран на двух транзисторах по схеме очень близкой к схеме на рис 61 Отличие заключается в том, что введены два переключателя на шесть положений *В1* и *В2* С помощью переключателя *В1* меняется тон звучания, а переключателем *В2* — частота повторения трелей При каждом переключении изменяется емкость конденсаторов в цепях положительной обратной связи генераторов

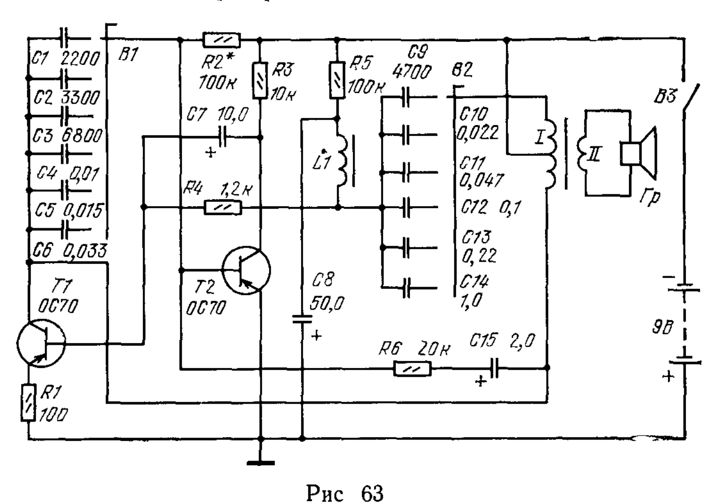


Рис 63

При повторении конструкции можно использовать германиевые низкочастотные транзисторы малой мощности с $h_{21Э}=30$ и более, например, типа МП42Б или МП41А, МП40А Все остальные детали и узлы подбирают по рекомендациям приведенным ранее при описании электронной канарейки Источником питания могут служить две батареи 3336Л, включенные последовательно Имитация голосов различных птиц производится переключением конденсаторов *С1—С6* и *С9—С14*

Имитатор двухсигнальной сирены. Зарубежные радиолюбительские журналы редко обходятся без публикации схем электронных сирен односигнальных многотональных, на однопереходных и биполярных транзисторах, на аналоговых и цифровых интегральных микросхемах

На рис 64 приведена принципиальная схема простой двухтональной электронной сирены Сирена собрана на биполярном транзисторе *Т1* и интегральной микросхеме *ИМС1*, содержащей четыре функциональных логических элемента 2И—НЕ По принципу действия электронная сирена содержит три генератора различных частот Так, транзистор *Т1*, элемент *ИМС1 1*, конденсатор *С1* и резисторы *R1* и *R3* образуют импульсный генератор с тактовой частотой около 1 Гц Элементы *ИМС1 2*, *ИМС1 4* и конденсатор *С2* создают импульсный генератор с частотой повторения около 1000 Гц а элементы *ИМС1 3* *ИМС1 4* вместе с конденсатором *С3* — генератор с частотой около 200 Гц В результате совместной работы трех генераторов громкоговоритель *Гр1* воспроизводит одновременно сигнал состоящий из колебаний двух частот, причем тональность колебаний периодически меняется один раз в секунду

При изготовлении сирены можно использовать транзистор типа КТ315Б или КТ315В, КТ312Б. Без каких-либо переделок можно взять интегральную микросхему типа К1ЛБ553. Электролитические конденсаторы типа К50-6 или К50-3, К50-12 рассчитаны на рабочее напряжение 6—10 В.

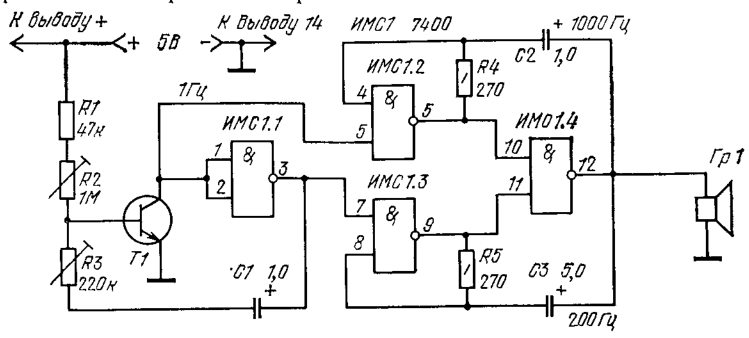


Рис. 64

СВЕТОАКУСТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

В нашей стране и за рубежом находят широкое применение различные светоакустические устройства, создающие световые эффекты в такт с мелодией воспроизводимой музыкальной программы. За рубежом такие устройства называются «Цветовыми органами», «Танцевальными огнями», «Ритмиконами» и т. д. Большинство устройств выполняют в виде приставок к приемникам, электро- и магнитофонам.

Как известно, работа светоакустических установок основана на изменении цвета и яркости свечения осветительных приборов, размещенных за специальным прозрачным экраном, в такт с изменением тона и громкости звучания акустической системы. Управляющее напряжение для светоакустической приставки снимается со звуковой катушки головки громкоговорителя или с линейного выхода УНЧ, входящего в состав электроакустической установки.

Принято считать, что звуковым сигналам басовой группы (нижним частотам), занимающим полосу частот до 150—200 Гц, должен соответствовать красный цвет; средним частотам (200—1000 Гц) — желтый или зеленый; высшим частотам (более 1 кГц) — синий или голубой. Эти цветовые эффекты создаются источниками света, стеклянные колбы которых покрыты прозрачным лаком соответствующего цвета. Яркость свечения канальных источников света регулируется транзисторными или тиристорными управителями. Число таких управителей должно быть равно числу каналов, обычно трем. Нередко на страницах зарубежных изданий можно встретить описания четырех-, пяти- и более канальных светоакустических установок. В этих случаях либо вводятся так называемые фоновые каналы фиолетового или бледно-желтого цвета, работающие постоянно или в моменты, когда выключаются все остальные каналы, либо выделяются в отдельный канал, управляемый частотами выше 4—5 кГц.

В соответствии с изложенными принципами построения светоакустические установки должны содержать многоканальные фильтры, разделяющие спектр входного сигнала на несколько частотных полос (3, 4 или 5), канальные управители, работающие совместно с канальными источниками света определенной окраски, и источник питания. Поскольку светоакустические эффекты проявляются наиболее заметно при электрической мощности канальных источников света не менее 50—60 Вт, то питать такие установки целесообразно только от сети.

Транзисторные приставки, создающие светоакустические эффекты, маломощны, часто выходят из строя, требуют кропотливого налаживания, хотя и позволяют получить плавное воспроизведение переходов тональности и интенсивности. Наиболее распространены тиристорные приставки.

Простая светоакустическая приставка на тиристорах. На рис. 65 дана принципиальная схема простой тиристорной светоакустической приставки, содержащей три цветовых канала и питающейся от сети переменного тока 127 В. Для повышения входного управляющего напряжения, снимаемого со звуковой катушки головки акустической системы, а также для развязки входной цепи и сети переменного тока на входе приставки включен повышающий трансформатор *Тр1*, в качестве которого рекомендуется использовать выходной трансформатор от лампового сетевого приемника II или IV класса, включив его вторичную обмотку на вход, а первичную — к фильтру.

Приставка по схеме рис. 65 способна обеспечить одновременную работу всех трех каналов при использовании в каждом из них по одной лампе мощностью 100 Вт. Столь высокие напряжения и мощности требуют принятия дополнительных мер предосторожности при налаживании и работе с приставкой. Все конденсаторы должны быть рассчитаны на рабочее напряжение не менее 200 В. Тиристоры, используемые в качестве управляемых ключей, должны выдерживать обратные запирающие напряжения, по крайней мере в 1,5—2 раза большие, чем напряжение питания. Допустимый средний ток тиристоров должен быть не менее максимального тока, потребляемого лампой каскада. В данном случае — не менее 1 А.

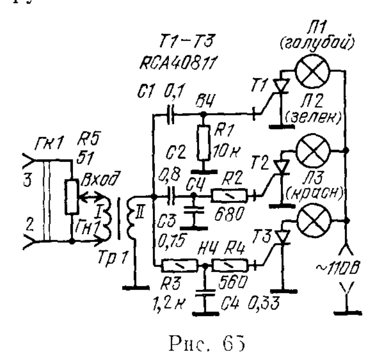


Рис. 65

С учетом вышеизложенного при повторении приставки можно использовать тиристоры типа КУ202И или КУ202Л. При наличии высоковольтных тиристоров типа КУ202Н можно увеличить напряжение питания до 220 В переменного тока. При этом мощность ламп в каждом канале может быть доведена до 200 Вт.

Если же в распоряжении радиолюбителя будут только низковольтные тиристоры, например, типа КУ202Б, КУ202В или КУ202Г, допускающие обратные напряжения до 25, 50 и 100 В соответственно, питание приставки следует производить через регулируемый автотрансформатор. Конечно, лампы накаливания должны быть рассчитаны на более низкое напряжение. И, как показывает практика, даже при таком усложнении схемы приставки ее свечение значительно заметнее, чем у транзисторных приставок. Однако подобные приставки имеют ряд недостатков. Приведем основные из них.

1. В ряде случаев, особенно при работе с большой громкостью, все канальные лампы включаются и выключаются одновременно, в такт с изменением громкости. При этом изменение тональности звука не влияет на работу ламп различных каналов. Как правило, это происходит из-за очень высокого уровня входного сигнала и несовершенства разделительных фильтров, имеющих крутизну скатов характеристик вне полос пропускания всего 6 дБ/окт. Устранить этот недостаток можно включив на входе приставки дополнительный резистор *R5*. С помощью переменного резистора можно регулировать уровень сигнала на входе разделительных фильтров таким образом, чтобы при установленной выходной мощности УНЧ обеспечивалось четкое включение и выключение каналов. Напряжение сигнала на входе первичной обмотки трансформатора при этом должно быть равно 0,2—0,5 В. При большем напряжении сигнала нарушается нормальная работа приставки.

Дополнительный переменный резистор должен быть проволочным на 51—100 Ом. Для удобства подведения сигнала рекомендуется в качестве входного гнезда использовать разъем типа СГ-3. Во всех случаях должна быть обеспечена надежная изоляция монтажной платы с тиристорами и деталями разделительных фильтров от входного гнезда и переменного резистора.

2. Наблюдается большая неравномерность свечения ламп. Они либо горят полным накалом, либо не светятся совсем. Иногда экран полностью гаснет, чаще всего это бывает, когда громкость звучания сильно падает.

Этот недостаток является прямым следствием простоты данной конструкции. Частично его можно устранить введением четвертого, фонового канала,

который остается включенным в то время, когда три других выключаются полностью. Конструкция такого улучшенного варианта приставки приводится ниже.

3. Лампы накаливания не дают яркого свечения, заметно мигание. Этот недостаток объясняется использованием тиристоров, обладающих несимметричной выходной характеристикой. Это значит, что такие тиристоры ведут себя как управляемые однополупериодные выпрямители, тогда как для нормального свечения стандартных ламп накаливания необходимо использование обоих полупериодов — положительного и отрицательного. Устранение такого недостатка возможно двумя путями. Во-первых, питанием анодных цепей тиристоров от сети через двухполупериодный выпрямитель по мостовой схеме. Если для этой цели использовать выпрямитель на четырех диодах типа Д226, то суммарный ток, потребляемый от сети, не должен превышать 0,6 А, что соответствует применению в каждом канале ламп мощностью не более 50 Вт. Как показывает практика, в большинстве случаев этого бывает достаточно. Во-вторых, можно использовать тиристоры с симметричной выходной характеристикой. В этом случае дополнительный выпрямитель в цепи питания не требуется.

Светоакустическая приставка с фоновым каналом. Эта приставка была разработана болгарским радиолюбителем. В ней устранены многие недостатки простой приставки, о которой шла речь выше. Приставка имеет три основных частотных канала с полосами частот от самых низших до 230 Гц (лампы красного цвета); от 230 Гц до 2,3 кГц (лампы зеленого цвета), выше 2,3 кГц (лампы синего цвета). Принципиальная схема приведена на рис. 66. Из рисунка видно, что питание анодов тиристоров производится от сети переменного тока напряжением 220 В через двухполупериодный выпрямитель на четырех диодах типа Д246, рассчитанных на ток до 5 А. Входной управляющий сигнал подается на гнездо *Гн2*, далее через повышающий трансформатор *Тр1* на входы разделительных фильтров. Для коррекции уровня сигнала на входах разделительных фильтров используется переменный резистор *R1*. В данном случае он может быть непроволочным.

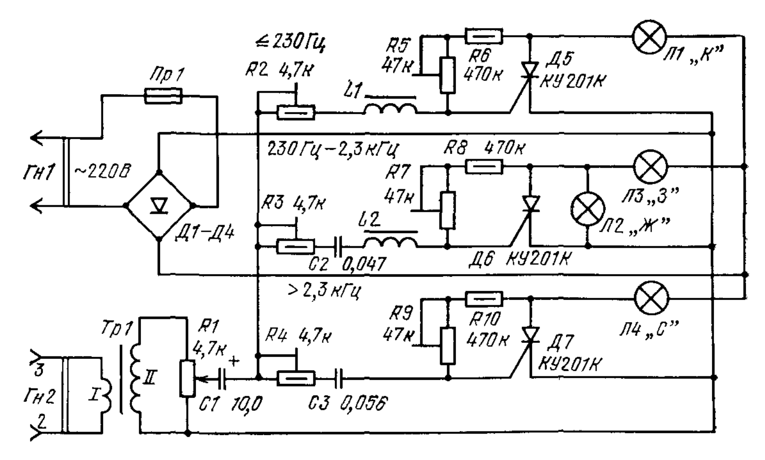


Рис. 66

Разделительные фильтры выполнены с применением катушек индуктивности. Для выравнивания чувствительности тиристоров различных каналов применены дополнительные резисторы, включенные между анодами и управляющими электродами тиристоров. Один из резисторов — подстроечный. Особенностью схемы является наличие фонового канала на лампе *Л2*, колба которой окрашена в желтый цвет. Эта лампа подключается параллельно аноду и катоду тиристора *Д6*. Светится она только тогда, когда тиристор *Д6* закрыт и все напряжение с выхода выпрямителя делится примерно поровну между лампами среднечастотного (зеленого цвета) и фонового (желтого цвета) канала.

Кроме того, в каждом разделительном фильтре есть подстроечные резисторы R2—R4. С их помощью производится коррекция коэффициентов передачи каждого фильтра для достижения правильного срабатывания тиристоров в соответствии со спектральным составом управляющего сигнала.

Катушки L1 и L2 намотаны на каркасах, в которые потом вставляют сердечники Ш3×6 от выходных трансформаторов для карманного приемника. Катушки намотаны проводом ПЭЛ-1 0,1 и содержат соответственно 750 и 500 витков.

Светоакустическая приставка на симметричных тиристорах. На рис. 67 приведена принципиальная схема простой светоакустической приставки с тремя каналами, в каждом из которых включена лампа мощностью 200 Вт. Приставка была описана на страницах румынского молодежного журнала. Частоты разделения полос каналов 150, 800 Гц и 2 кГц. Конструкция имеет много общего с приставкой на рис. 65: простейшие разделительные фильтры, повышающий трансформатор на входе разделительных фильтров, лампы и тиристоры с симметричной выходной характеристикой. Симметричные тиристоры Д1—Д3 управляются так же, как тиристоры с несимметричной характеристикой, но проводят ток в течение обоих полупериодов переменного напряжения сети.

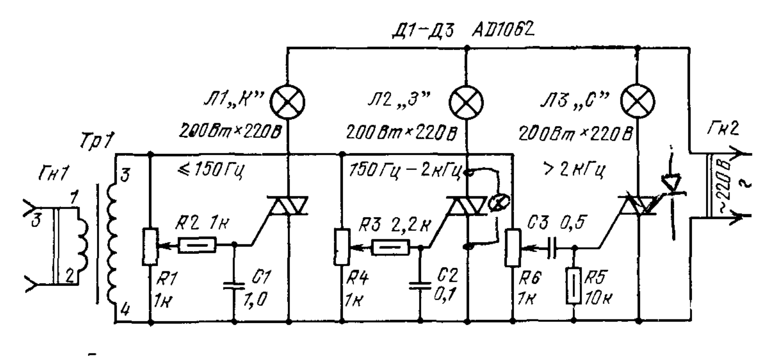


Рис. 67

Как видно из рис. 67, приставка содержит корректирующие переменные резисторы на входе каждого разделительного фильтра, что позволяет регулировать работу приставки в зависимости от музыкального содержания прослушиваемой и просматриваемой программы.

При повторении конструкции можно использовать высоковольтные симметричные тиристоры типа КУ208Г, допускающие обратное напряжение на аноде до 400 В. Сведения о других деталях приставки можно почерпнуть из описаний двух предшествующих приставок.

Светоакустические установки являются пока относительно редкими для слушателя и зрителя устройствами, поэтому к ним обычно привлекается внимание многих. Декоративно оформленные экраны светоакустических установок могут быть установлены в жилом помещении или в клубе.

Определенный интерес представляет использование двух светоакустических установок, работающих совместно со стереофонической системой. На экранах установок хорошо различается разбалансировка каналов усилителя, особенности работы каналов при воспроизведении звуков от перемещающихся инструментов

И, наконец, все описанные приставки являются по существу простейшими анализаторами спектра электрических сигналов, которые можно использовать без акустических установок. Например, если ко входу приставки подключить выход генератора импульсов, то число и яркость свечения каналов будут зависеть от длительности импульсов и частоты их повторения.

РАДИОПРИЕМ, ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЗВУКА

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ КАСКАДЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Магнитная антенна диапазона УКВ ЧМ. Мы уже привыкли к тому, что портативные и карманные приемники в диапазонах КВ и УКВ ЧМ работают с выдвижными штыревыми антеннами высотой до 1—1,5 м. Такие антенны очень неудобны в обращении, часто ломаются, теряют электрический контакт между звеньями. В результате качество приема ухудшается, появляются помехи в виде тресков. Кроме того, выдвижные антенны являются антеннами электрического типа, на их работу влияют окружающие предметы.

В этом отношении более удобно применение магнитной антенны, подобной той, которая успешно применяется в приемниках с диапазона средних и длинных волн. Правда, долгое время считалось, что магнитная антенна на УКВ ЧМ, уступая теоретически полуволновому вибратору электрической антенны примерно 11 дБ, не сможет конкурировать со штыревыми выдвижными антеннами. Но совершенствование полевых транзисторов СВЧ и ферритовых сердечников позволяет в настоящее время пересмотреть это устоявшееся мнение.

На рис. 68 приведена принципиальная схема уснлителя высокой частоты портативного приемника УКВ ЧМ с магнитной антенной. Измерения показали, что приемник с такой антенной обладает высокой чувствительностью, превосходящей чувствительность аналогичного приемника с выдвижной антенной. На рис. 69 представлена зависимость отношения сигнал/шум на выходе частотного детектора приемника от напряженности поля радиостанции. Как видно из рис. 69, отношение сигнал/шум достигает приемлемого значення (более 30 дБ) при напряженности поля уже 30 мкВ/м, т. е. в 2—3 раза меньшей, чем для приемников с выдвижной антенной. Возможностей для такого значительного улучшения характеристик приемника с магнитной антенной несколько. Рассмотрим некоторые из них.

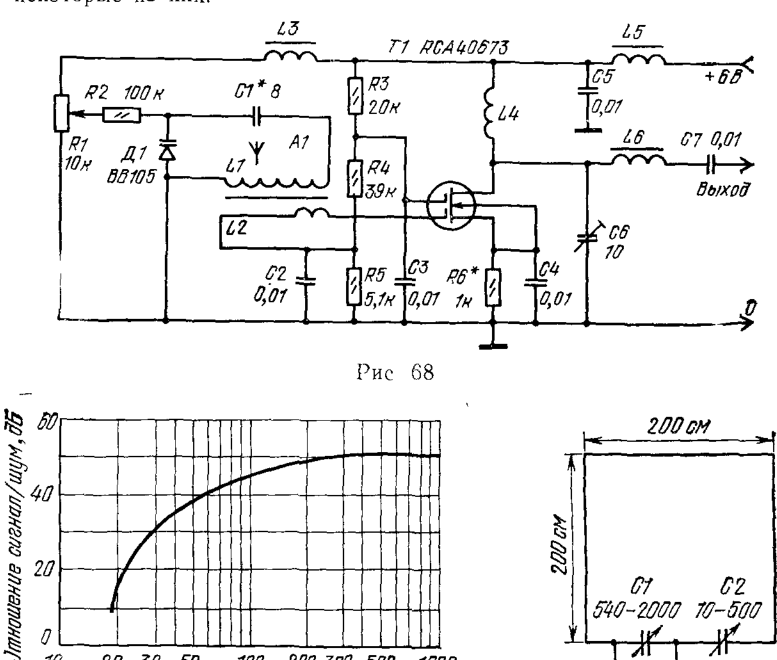


Рис 68

Рис. 69

Рис. 70

Магнитная антенна выполнена с использованием высокочастотного ферритового стержня марки F29 длиной 123 мм, диаметром 8 мм. Магнитная антенна содержит резонансный контур, состоящий из катушки индуктивности *L1* и последовательно соединенных конденсатора *C1* и варикапа *Д1*. Катушка *L1* содержит всего три витка провода в эмалевой изоляции диаметром 0,7 мм. Катушка связи *L2* содержит один виток провода той же марки. Входной резонансный контур имеет собственную добротность около 200 на частоте 50 МГц, которая уменьшается до 110 при установке в приемник. Именно за счет высокой добротности контура магнитной антенны достигается значительное улучшение отношения сигнал/шум.

Вторым источником увеличения чувствительности является применение в усилителе ВЧ малошумящего СВЧ полевого транзистора с двумя затворами. Сигнал с катушки связи *L2* подается на нижний по схеме затвор, а на верхний поступает постоянное напряжение начального смещения. Нагрузкой каскада является колебательный контур *L4C6*. Выходной сигнал снимается через корректирующий дроссель *L6*. Частота настройки контура *L4C6* равна средней частоте перекрываемого диапазона волн. Настройка входного контура производится с помощью переменного резистора *R1*, меняющего напряжение постоянного смещения на варикапе *Д1*.

При повторении конструкции можно использовать полевой транзистор типа КП350Б. Поскольку диапазон УКВ ЧМ за рубежом отличается от отечественного диапазона, необходимо произвести некоторые изменения в намоточных данных катушек индуктивности. Магнитопровод магнитной антенны может быть из феррита марки ВЧ15 или ВЧ20. Катушка *L1* должна содержать 4 витка, *L2* — 1,5 витка провода ПЭ-1 0,7 мм. Дроссели *L3*, *L5* и *L6* наматываются проводом марки ПЭВ-1 диаметром 0,27 мм на ферритовом стержне для подстройки коротковолновых катушек переносных приемников «ВЭФ-202» и т. п. и содержат по 6 витков. Дроссель *L4* наматывается на каркасе из фарфора диаметром 8 мм и длиной 15 мм проводом ПЭВ-1 диаметром 0,27 мм, содержит 5 витков с шагом 1 мм. Если имеется возможность измерить индуктивность сделанных катушек с помощью прибора, то необходимо ориентироваться на следующие значения индуктивности: *L3*, *L5* — по 2 мкГн, *L4* — 1 мкГн, *L6* — 0,5 мкГн. Емкость конденсатора *C1* должна быть увеличена до 15 пФ.

Для настройки входного контура магнитной антенны можно применить варикап типа Д901А. Усилительный каскад допускает увеличение напряжения питания до 9 В, необходимо только подобрать сопротивление резистора *R6*, при котором достигается наибольшая чувствительность приемника. Все детали каскада размещают на отдельной печатной плате, на которой укрепляют стержень антенны. Катушки входного контура должны быть примерно в средней части стержня магнитной антенны.

Одновитковая рамочная антенна для КВ. Проблема установки в городских условиях хорошей антенны для радиолюбителей-коротковолновиков с каждым годом усложняется, поэтому описание комнатной антенны для коротковолнового приемника может представлять интерес для отечественных радиолюбителей-коротковолновиков.

Схема антенны очень проста (рис. 70). Антенна представляет собой один виток гибкого многожильного провода в виниловой изоляции, намотанного на ... деревянной оконной раме комнаты, где размещается коротковолновый приемник. Антенна настроенная. Перестройка производится конденсатором переменной емкости *C2* в пределах 3,4—15 МГц, что соответствует перекрытию диапазона волн от 20 до 80 м. Конденсатор *C1* используется для согласования антенны с низкоомным кабельным входом приемника, рассчитанным на кабель с волновым сопротивлением 70 Ом.

За счет того, что антенна настраивается и согласуется с волновым сопротивлением кабеля и входным сопротивлением приемника, удается достичь заметного повышения частотной избирательности приемника по зеркальному каналу и по побочным каналам приема, а также улучшить чувствительность приемника в целом.

При повторении можно использовать два блока конденсаторов переменной емкости. Один может быть двухсекционным (для *C2*), причем используется только одна секция на 11—490 пФ. Второй блок должен быть строенным (для

C1), все три секции включаются параллельно. Кроме того, параллельно этим секциям подключают конденсатор постоянной емкости на 510 пФ Для подключения антенны к приемнику можно использовать кабель для телевизионного ввода типа РК-75 длиной до 3—5 м со штыревым разъемом *Гн1*.

Дополнительный усилитель высокой частоты. На рис. 71 приведена принципиальная схема простого дополнительного усилителя высокой частоты для простого коротковолнового приемника. Усилитель выполнен на одном полевом транзисторе *Т1*. Катушка связи с наружной антенной *L1* и катушка индуктивности входного резонансного контура *L2C1* обеспечивают оптимальное согласование антенны с контуром. Высокое входное сопротивление каскада на полевом транзисторе позволяет обойтись без дополнительной катушки связи. Все это дает возможность обеспечить высокую добротность входного контура, малые нелинейные искажения сигнала, заметное усилеие сигнала и повышение частотной избирательности главным образом по зеркальному каналу При изменении емкости конденсатора настройки *С1* усилитель перестраивается в диапазоне частот от 6 до 12 МГц, перекрывая диапазон волн от 25 до 50 м. В среднем дополнительное улучшение избирательности по зеркальному каналу составляет 10—20 дБ.

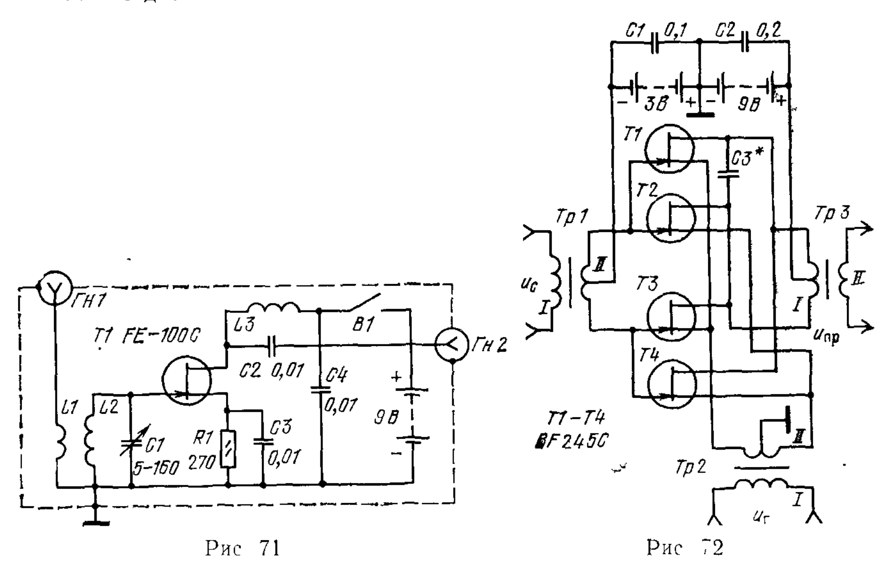


Рис 71

Рис 72

При повторении конструкции можно использовать полевой транзистор типа КП303В или КП303Г. Катушки индуктивности *L1* и *L2* наматывают последовательно друг за другом на фарфоровом каркасе диаметром 12 мм проводом марки ПЭВ-1 диаметром 0,35 мм и содержат соответственно 21 и 5 витков Подстроечный сердечник не требуется. Дроссель *L3* должен иметь индуктивность 2,5 мГн Для его изготовления можно использовать резистор типа МЛТ-2 на 10 кОм, намотав поверх его 30—40 витков провода марки ПЭЛШО 0,2 Индуктивность дросселя будет меньше требуемого значения, но все же достаточной для хорошей работы приемника Питание может осуществляться от внутренней батареи «Крона ВЦ» Потребляемый ток около 5 мА Возможно также использование основного источника питания приемника, с которым будет работать данная приставка.

Преобразователь частоты на полевых транзисторах. На рис. 72 приведена принципиальная схема высококачественного преобразователя частоты для коротковолнового приемника радиолюбителя-наблюдателя Большинство схем преобразователей частоты содержат только один (реже два) транзистор, не считая гетеродина Но чтобы в одном преобразователе было четыре транзистора … Зачем все это?

Главное, что привлекает в данном приемнике, — очень малый уровень интермодуляционных помех преобразователя частоты на четырех полевых транзисторах, образующих кольцевой балансный смеситель. Если в среднем однотранзисторный преобразователь частоты, наиболее распространенный в любительских приемниках, ослабляет интермодуляционные помехн на уровне ниже полезного сигнала всего на 10—20 дБ, каскад по схеме рис 72 дает подавление таких помех на 70 дБ ниже полезного сигнала при равных значениях мощности сигнала и помех на входе.

Указанные преимущества достигаются за счет использования четырех полевых транзисторов и равного по амплитуде и противоположного по фазе возбуждения сигнальных и гетеродинных входов каскада с помощью двух широкополосных согласующих трансформаторов. К первичной обмотке трансформатора *Тр1* подводится напряжение сигнала, к первичиой обмотке аналогичного трансформатора *Тр2* — напряжение гетеродина. Напряжение промежуточной частоты снимается со вторичной обмотки трансформатора *Тр3*

При повторении конструкции можно использовать полевые транзисторы типа КП303В с возможно более близкими значениями напряжения отсечки между затвором и истоком и максимального тока стока. Для обеспечения нормальной работы каскада необходимо подать начальное смещение на затворы и стоки транзисторов относительно их истоков Для этого используют два источника истокового напряжения (на 3 В) и стокового (на 9 В). Напряжение гетеродина должно быть равно 4 В эф. Преобразователь сохраняет работоспособность (высокие характеристики) при напряжении сигнала до 140 мВ.

Трансформаторы *Тр1* и *Тр2* однотипные, выполненные на ферритовых кольцах марки ВЧ100 внешним диаметром 7 мм. Первичные обмотки содержат по 1С витков, вторичные — 2×5 витков, все провода ПЭЛШО 0,27. В качестве трансформатора *Тр3* используют фильтр промежуточной частоты Если промежуточная частота равна 465 кГц, то первичная обмотка трансформатора *Тр3* содержит 2×36 витков провода ПЭВ-2 0,15, вторичная — 8 витков провода ПЭЛШО 0,15. Обмотки помещают в броневой ферритовый сердечник диаметром 8,2 мм маркн 600НН от фильтра промежуточной частоты любого карманного или переносного транзисторного приемника. Первичная обмотка трансформатора должна быть зашунтирована в дополнительном конденсаторе *С3* постоянной емкости 1000 пФ типа ПСО или КЛС

Усилитель высокой частоты ... для приемника прямого усиления. Все приведенные выше описания различных усовершенствований касались исключительно супергетеродинных приемников с коротковолновыми диапазонами волн Но это совсем не означает, что в приемниках прямого усиления все возможное уже достигнуто, они изжили себя Появление малошумящих полевых транзисторов как бы вновь возродило приемники прямого усиления на качественно новой основе. В последние годы на страницах радиолюбительских журналов было опубликовано несколько принципиальных схем приемников прямого усиления, в которых нашли свое применение полевые транзисторы На рис. 73 приведена принципиальная схема одного из самых интересных усилителей вы

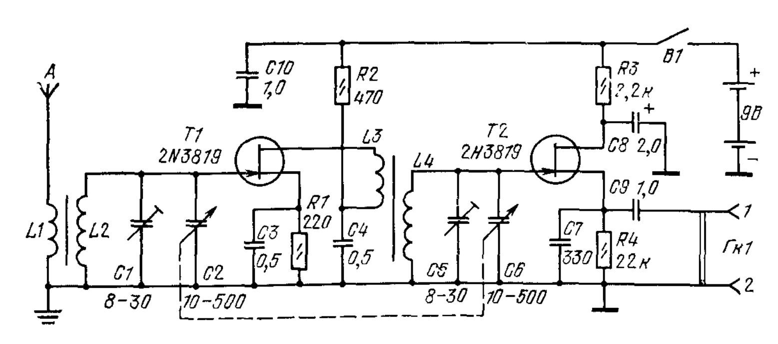


Рис 73

сокой частоты для приемника прямого усиления, собранного на двух полевых транзисторах

Усилитель предназначен для совместной работы с наружной антенной, заземлением и ... высококачественным УНЧ. На первый взгляд может показаться странным: усилитель высокой частоты приемника прямого усилителя на двух транзисторах — и высококачественный УНЧ. Но здесь нет противоречий. Усилитель высокой частоты с детектором на полевых транзисторах (в данном случае *Т1* и *Т2*) обладает высоким качеством воспроизведения сигнала, пригодным даже для записи на магнитофон. Это качество обусловлено, во-первых, принципом приема, когда до детектора происходит только усиление сигнала без преобразования его частоты. А ведь именно преобразователь частоты вносит больше всего помех Во-вторых, полевые транзисторы вносят небольшие искажения в сигнал как при его усилении, так и при детектировании. В данной схеме транзистор *Т1* используется в каскаде усиления высокой частоты по схеме с общим истоком, транзистор *Т2* работает как истоковый детектор.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КП303В или КП303Г без какого-либо подбора их по параметрам. Блок конденсаторов переменной емкости сдвоенный, от любого лампового или транзисторного приемника. Катушки индуктивности можно намотать на двух кусках ферритового стержня диаметром 7—8 мм и длиной по 50 мм. Марка сердечника — 400НН или 600НН. Катушки *L1* и *L3* содержат по 25 витков, *L2* и *L4* — по 60 витков, все провода ПЭЛШО 0,15, намотанные на подвижных бумажных каркасах. Усилитель высокой частоты предназначен для работы в диапазоне средних волн. На длинных волнах данный усилитель работает неустойчиво.

Налаживание усилителя сводится к сопряжению настроек входного и выходного резонансного контуров путем перемещения каркасов по сердечникам, добиваясь максимальной громкости Вход УНЧ подключается к выходу приставки через гнездо *Гн1* типа СГ-3 или СГ-5. Для питания можно использовать две последовательно соединенные батареи 3336Л. Потребляемый ток зависит от типа применяемых транзисторов и в среднем составляет 8—10 мА.

Последетекторные фильтры нижних частот. Качество работы радиолюбительских приемников, особенно прямого преобразования сигнала и супергетеродинов, во многом зависит от последетекторной фильтрации полученного сигнала. Дело в том, что при работе радиотелефоном полоса спектра сигнала на выходе амплитудного детектора может быть ограничена частотой до 4 кГц. Это имеет существенное значение, так как на более высоких частотах наблюдается действие разного рода интермодуляционных помех, обусловленных несовершенством усилительного тракта приемника до детектора и влиянием станций, работающих на близких частотах.

Как показывает практика, детекторы любительских приемников имеют в большинстве случаев простейшие *RC*-фильтры, дающие ослабление за частотой среза 6 дБ/окт, что недостаточно для подавления интермодуляционных помех.

В этом отношении значительно лучше работают те приемники, у которых после детектора включен специальный фильтр нижних частот. Характерной особенностью фильтров нижних частот является то, что они практически без

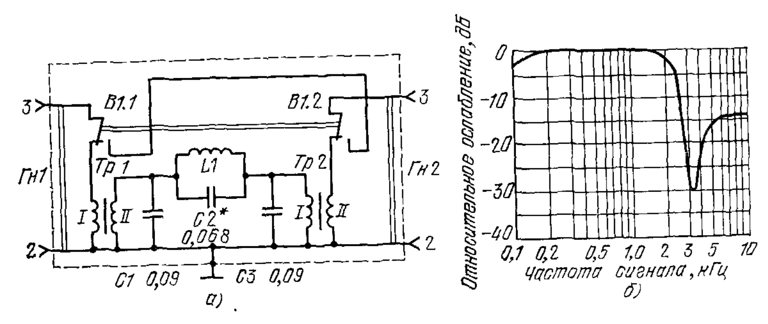


Рис. 74

искажений пропускают частоты от 300 Гц до 3,5 кГц (речь человека) и значительно ослабляют помехи на частотах выше 3,5 кГц.

На рис. 74 приведена принципиальная схема (*а*) и амплитудно-частотная характеристика (*б*) пассивного фильтра нижних частот С помощью сдвоенного переключателя *В1* приемник может работать с фильтром нижних частот или без него Входной сигнал подается к гнезду *Гн1*, выходной снимается с гнезда *Гн2*. Основой фильтра являются два однотипных выходных трансформатора *Тр1* и *Тр2* от портативных транзисторных приемников. Обмотки I трансформатора *Тр1* и II трансформатора *Тр2* выходные, а II трансформатора *Тр1* и I трансформатора *Тр2* коллекторные. Гнездо *Гн1* подключают к выходу усилителя мощности низкой частоты (0,3—0,5 Вт), а к гнезду *Гн2* подсоединяют головку громкоговорителя или низкоомного головного телефона

Связь между обоими трансформаторами осуществляется с помощью параллельного резонансного контура *L1C2*, настроенного на частоту 3,5 кГц. Получается фильтр-пробка, который подавляет частоты в области 3,5 кГц до 30 дБ. Индуктивность катушки индуктивности *L1* 40 мГн. Желательно поместить все элементы приставки в металлический корпус во избежание нежелательных наводок и помех.

На рис. 75 приведена принципиальная схема (*а*) и амплитудно-частотная характеристика (*б*) активного фильтра нижних частот. Фильтр оформлен в виде приставки и содержит два полевых транзистора. Его основными преимуществами являются наилучшая амплитудно-частотная характеристика и высокое входное сопротивление (около 0,5 МОм). Такая приставка может работать непосредственно после детектора перед УНЧ. Требуемая форма амплитудно-частотной характеристики достигается введением нескольких цепей частотно-зависимых отрицательных обратных связей Как видно из рис. 75,*б*, полоса пропускания фильтра на уровне —6 дБ находится в пределах 380 Гц — 3,2 кГц.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КП303Б, КП303В. Потребляемый ток 6—8 мА Источник питания — отдельный стабилизированный выпрямитель или выпрямитель УНЧ, с которым фильтр будет работать.

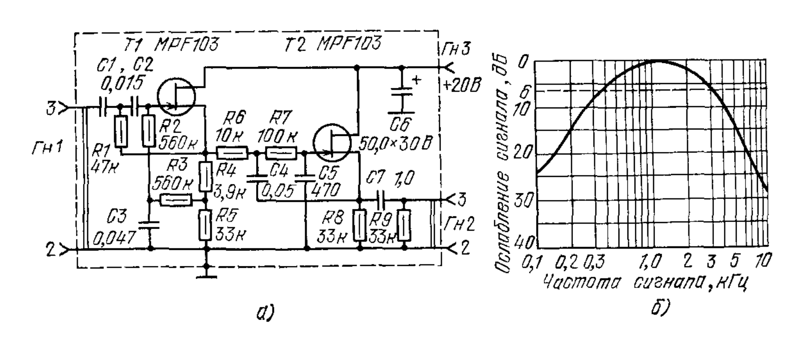


Рис. 75

МИКШЕРНЫЕ И РАЗВЕТВЛЯЮЩИЕ КАСКАДЫ

Микшерными принято называть каскады, предназначенные для сведения двух или нескольких электрических сигналов в один общий сигнал. Иногда каскады этого назначения называются суммирующими, так как в них по существу происходит независимое сложение напряжений нескольких сигналов. Разветвляющими называются каскады, предназначенные для повторения на нескольких независимых друг от друга выходах напряжений одного и того же сигнала. В радиолюбительской практике такие каскады называются также размножителями сигнала.

Названные выше каскады находят широкое применение при записи и воспроизведении звука.

Нерегулируемый микшерный каскад на два входа. На рис. 76 приведена принципиальная схема простого суммирующего каскада на два входа, собранного на двух биполярных транзисторах с общей коллекторной нагрузкой. Входные сигналы подаются к гнездам *Гн1* и *Гн2*, далее на базы транзисторов *Т1* и *Т2*. Суммирование сигналов происходит в их общей коллекторной нагрузке на резисторе *R5*. Коэффициент передачи каждого каскада по напряжению около 0,7. Для устранения влияния входного сопротивления последующего УНЧ, с которым будет работать данный каскад, введен дополнительный эмиттерный повторитель на транзисторе *Т3*. Выходной суммарный сигнал снимается с эмиттера транзистора *Т3* и через конденсатор *С5* подается к выходному гнезду *Гн3*. Питание осуществляется от отдельной батареи, но можно использовать стабилизированный источник питания УНЧ, с которым каскад будет работать.

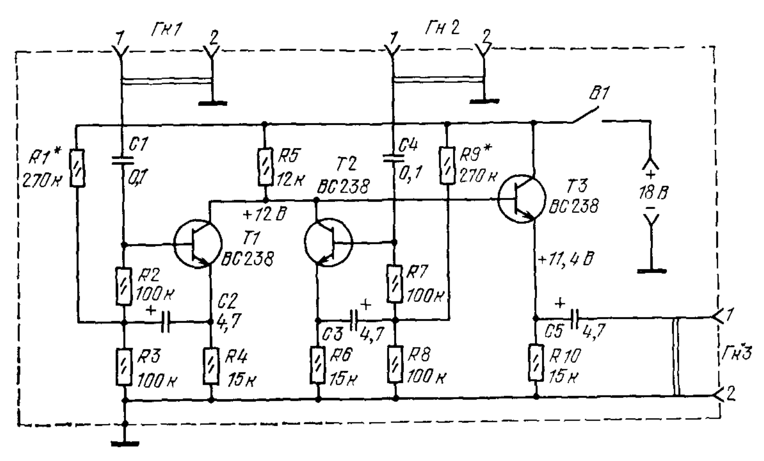


Рис 76

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ315Г. Налаживание сводится к подбору, в случае необходимости, сопротивлений резисторов *R1* и *R9* в базовых цепях транзисторов *Т1* и *Т2* для установки коллекторного тока каждого из них равным 0,25 мА.

Как показала практика, входное сопротивление каждого входа 1—2 МОм, выходное — около 100 Ом. Коэффициент нелинейных искажений 0,1% при входном напряжении 1 В и 0,5% при входном напряжении 2 В.

Микшерный каскад с двумя регулируемыми входами и выходом. На рис. 77 приведена принципиальная схема простого суммирующего каскада на два входа, в котором применены два транзистора и переменные резисторы во входных и выходной цепях. Наличие переменных резисторов *R1* и *R9* позволяет регулировать напряжения исходных сигналов на входах каскада для создания определенных эффектов и предотвращения перегрузки на входах. Переменный резистор *R5*, включенный между коллекторами транзисторов *Т1* и *Т2*, дает возможность суммировать сигналы в самых различных соотношениях. Например, в правом крайнем положении его движка сигнал правого по схеме входа усиливается больше, чем левого, и наоборот. В среднем положении движка оба сигнала усиливаются примерно одинаково (в 10—15 раз). Входное сопротивление каждого каскада около 40 кОм, выходное — около 4 кОм. Напряжение питания 9 В, потребляемый ток — до 2 мА.

При повторении можно использовать транзисторы типа КТ315В, КТ315Г. Регулировка сводится к подбору сопротивлений резисторов *R2* и *R8*, при которых коллекторные токи транзисторов *Т1* и *Т2* будут равны примерно по 1 мА. Особенностью данного каскада является его чувствительность к перегрузкам во входных цепях при полностью введенных движках переменных ре-

зисторов *R1* и *R9*. В этом случае коэффициент нелинейных искажений на выходе каскада достигает 0,5% при входном напряжении 100 мВ. Поэтому рекомендуется использовать каскад с неполностью введенными движками переменных резисторов *R1* и *R9*.

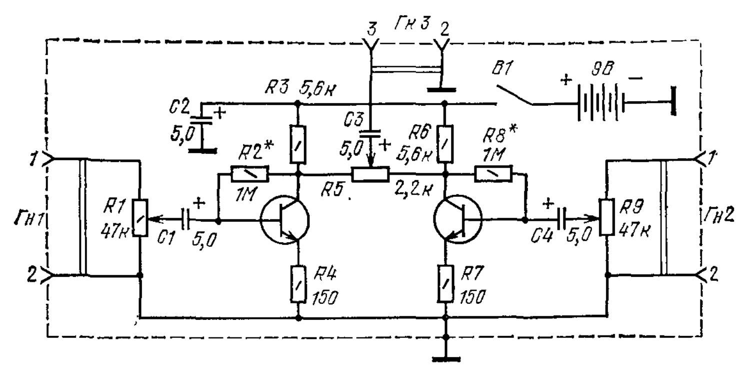


Рис. 77

Микшерный каскад на полевых транзисторах. На рис. 78 приведена принципиальная схема микшерного каскада, предназначенного для использования в высококачественных УНЧ. Его основное достоинство — большое входное сопротивление обоих входов (по 1 МОм), высокая линейность амплитудной характеристики. Эти преимущества обусловлены использованием в каскаде полевых транзисторов *Т1* и *Т2*. Входы и выход каскада не регулируются. Входные гнезда *Гн1* и *Гн2*, выходное — *Гн3*. Коэффициент передачи каждого канала равен примерно 3. Максимальное входное напряжение сигнала на каждом **входе** 0,5 В.

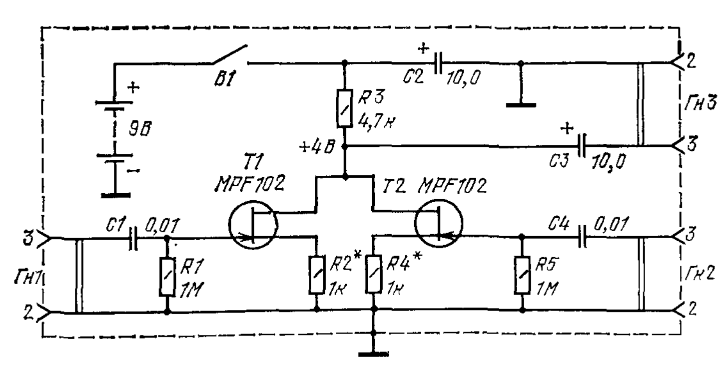


Рис. 78

При повторении конструкции можно использовать полевые транзисторы типа КП303Е или КП303В. Для дальнейшего улучшения качества работы каскада рекомендуется увеличить напряжение питания до 15—20 В. В случае необходимости коэффициент усиления по одному из входов может быть увеличен до 10 за счет уменьшения сопротивления в цепи истока транзистора соответствующего каскада (*R2* и *R4*) до 100—300 Ом.

Первоначально каскад был описан в американском радиолюбительском журнале.

Каскад для сведения двух стереофонических сигналов. Все описанные выше каскады предназначены для получения общего сигнала из двух напряжений,

поступающих от разных источников, например, одновременно с выхода электрофона и микрофона или двух микрофонов, магнитофона и телефона и т. д. Суммарный сигнал далее может быть усилен и воспроизведен любым монофоническим УНЧ с громкоговорителем.

Практика показывает, что иногда такой каскад необходим для ... сведения двух стереофонических сигналов в один монофонический. В предыдущих главах речь шла о том, как лучше всего разделить оба стереофонических канала между собой, а здесь рассматривается специальный каскад, объединяющий оба канала. Зачем?

Чаще всего это необходимо для воспроизведения стереофонической программы через монофоническую электроакустическую установку, когда имеется стереофонический проигрыватель, а усилитель и громкоговоритель — монофонические. И если вход УНЧ монофонической установки подключить к выходу только одного из двух каналов проигрывателя, то звук будет неполноценным. Для высококачественного воспроизведения стереофонических программ через монофонические установки необходимо объединить сигналы обоих каналов на входе УНЧ.

Эту задачу может решить любой из описанных выше каскадов, но все же лучше это сделать с помощью специального каскада, имеющего очень малые нелинейные искажения, работающего при повышенном напряжении питания. На рис. 79 приведена принципиальная схема каскада для сведения двух стереофонических каналов в один монофонический. Как видно из рис. 79, каскад имеет много общего с каскадом на рис. 76. Отличие состоит во входных цепях транзисторов *Т1* и *Т2*, а также в наличии стабилитрона *Д1* на 18 В. Эти изменения способствуют уменьшению влияния помех за счет пульсации напряжения питания и уменьшают возможность перегрузки на входах. Стабилитрон *Д1* заменяется двумя последовательно соединенными стабилитронами типа Д814Б.

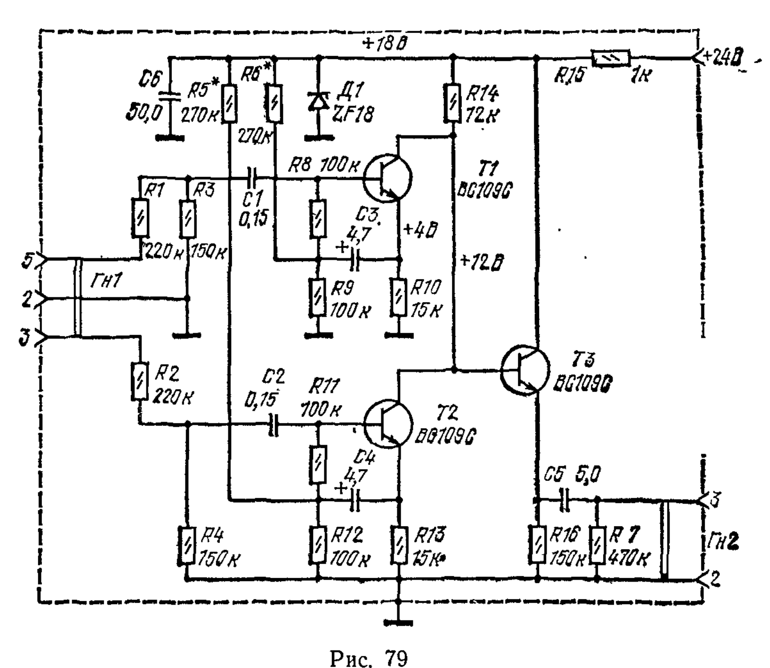


Рис. 79

Разветвляющий каскад с тремя выходами. На рис. 80 приведена принципиальная схема разветвляющего каскада на три выхода, предназначенного для независимого подключения до трех потребителей к одному источнику сиг-

нала. В этом случае выход источника сигнала подключается к гнезду *Гн1*, а входы потребителей — к гнездам *Гн2—Гн4*. На практике радиолюбители редко пользуются такими разветвляющими каскадами, подключая к выходу источника сигнала сразу несколько потребителей, например при записи с одного электропроигрывателя на входы трех магнитофонов одновременно. Здесь низкое входное сопротивление нагрузки ухудшает работу предусилителя электропроигрывателя, а кроме того, магнитофоны влияют друг на друга. При использовании каскада по схеме рис. 80 такого взаимного влияния не наблюдается. Он выполнен на четырех полевых транзисторах. Каскад на транзисторе *T1* включен по схеме усилителя с общим истоком. Транзисторы *T2—T4* используются в развязывающих истоковых повторителях. Коэффициент усиления, даваемый каскадом по каждому каналу, равен 10—15.

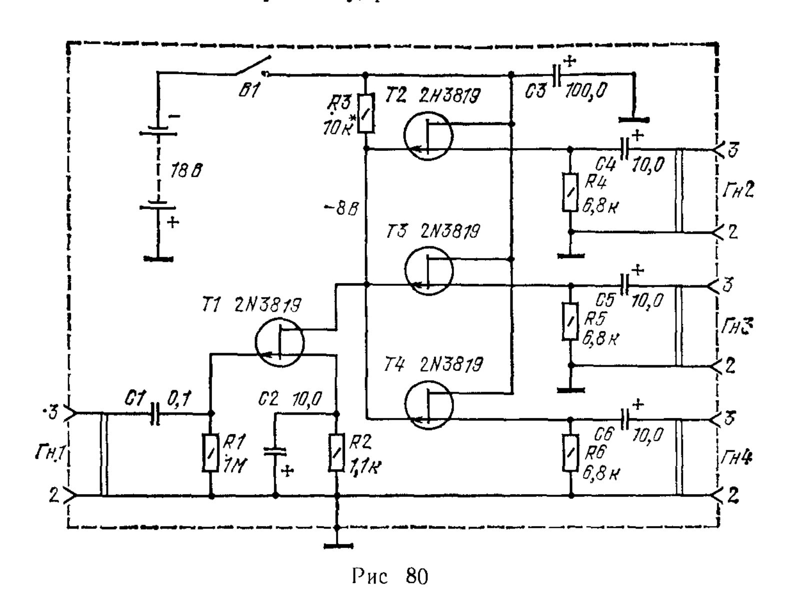


Рис 80

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КП102Е—КП102Л или КП103Е—КП103К. В случае необходимости, отключив конденсатор *C2*, коэффициент усиления можно уменьшить в несколько раз. Питание от батареи или стабилизированного источника напряжением 10—20 В. Потребляемый ток 10—12 мА.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАССЕТНЫХ МАГНИТОФОНОВ

Кассетные магнитофоны стали неотъемлемой частью нашего быта. Малогабаритные, удобные и всегда готовые к действию в стационарных и походных условиях, эти магнитофоны не отличаются особой сложностью своей конструкции. Многие радиолюбители самостоятельно делают такие магнитофоны или совершенствуют уже имеющиеся. За рубежом не публикуются подробные описания кассетных магнитофонов для самостоятельного изготовления, а лишь даются сведения о некоторых особенностях их схемных решений. В этом отношении книги и статьи советских радиолюбителей содержат значительно больше информации.

Ниже будут рассмотрены только некоторые относительно несложные усовершенствования кассетных магнитофонов, устраняющие ряд недостатков.

Автостоп для двигателя. Кассетные магнитофоны работают в основном от гальванических источников питания, экономное расходование энергии которых играет важную роль. Основным потребителем тока является электродвигатель

лентопротяжного механизма. Поэтому желательно производить его отключение сразу по окончании проигрывания одной стороны компакт-кассеты. Нередко слушатель забывает это сделать, в результате чего двигатель потребляет большой ток, изнашивается лентопротяжный механизм. Правда, в дорогостоящих кассетных магнитофонах применяют различные автоматические устройства, выключающие двигатель и даже УНЧ. Но в простых конструкциях такой автоматики нет

На рис 81 приведена принципиальная схема простого автостопа для кассетного магнитофона. Особенностью данного устройства является то, что электродвигатель с центробежным или электронным управлением и стабилизацией частоты вращения *М1* подключается к источнику питания через электронный ключ, собранный на транзисторах *Т1—Т3* и диодах *Д1*, *Д2*. Работает ключ следующим образом. При включении питания тумблером *В1* полное напряжение питания прикладывается к эмиттеру транзистора *Т1*. В момент включения импульс напряжения положительной полярности проходит через ограничительный резистор *R1*, конденсатор *С1*, диод *Д1* на базу транзистора *Т2*, открывая его и переводя в насыщенное состояние. В результате транзистор *Т1* насыщается и почти все напряжение питания прикладывается к двигателю, который начинает работать

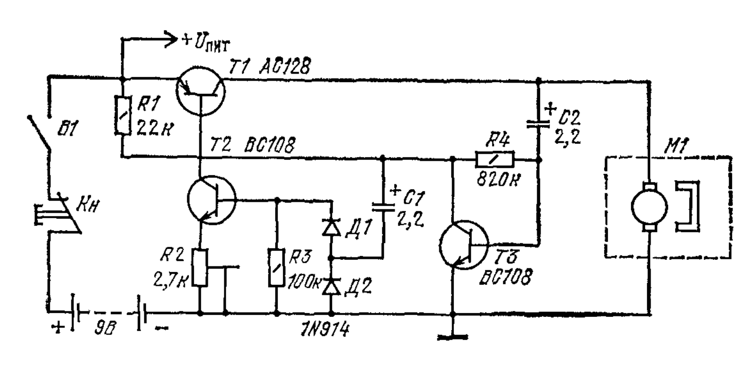


Рис 81

Транзистор *Т1* будет теперь находиться в насыщенном состоянии до тех пор, пока двигатель работает с нормальной частотой: пульсации напряжения на зажимах двигателя через конденсатор *С2* поступают на базу транзистора *Т3*, усиливаются в его коллекторной цепи, которая соединена через конденсатор *С1* с базой транзистора *Т2*, т е. при каждом замыкании и размыкании тока в щетках коллекторного электродвигателя возникают импульсы напряжения, поддерживающие транзистор *Т1* в насыщенном состоянии.

Если же двигатель остановится либо из-за окончания пленки, либо из-за намотки пленки на тонвал, то эти импульсы прекратятся, транзисторы *Т2* и *Т1* закроются, ток через двигатель прекратится. Для повторного включения двигателя необходимо выключить и вновь включить тумблер *В1*. Для того чтобы не пользоваться этим тумблером часто, можно воспользоваться дополнительной кнопкой *Кн*, включаемой последовательно с контактами *В1*, как показано на рис. 81

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа ГТ402А или ГТ402Б (*Т1*), КТ315В, *Т2*, *Т3*, диоды типа Д18 или Д9Д (*Д1*, *Д2*). Быстрота выключения ключа регулируется переменным резистором *R2* применительно к конкретному типу двигателя. Напряжение для питания УНЧ и высокочастотного генератора стирания и подмагничивания снимается с эмиттера транзистора *Т1*

Высокочастотный генератор с АРУ. На практике замечено, что по мере снижения напряжения питания резко ухудшается качество записи: хуже стирается старая запись, слабо, с искажениями, записывается новая. Этот недо-

статок связан с уменьшением амплитуды колебаний высокочастотного генератора стирания и подмагничивания. В ряде конструкций кассетных магнитофонов делались попытки устранить недостаток путем стабилизации напряжения питания генератора в целом. Стабилизация давала желаемый результат, но ценой резкого возрастания тока, потребляемого генератором и стабилизатором.

На рис. 82 приведена принципиальная схема высокочастотного генератора, в котором высокая стабильность амплитуды генерируемых колебаний при изменении питающего напряжения достигалась без существенного повышения потребляемой мощности Генератор работает на частоте 69 кГц, собран иа транзисторах *Т1* и *Т2* по обычной двухтактной схеме с трансформаторной обратной связью. Катушки *L1—L3* намотаны на одном каркасе, помещенном в броиевой сердечник из феррита.

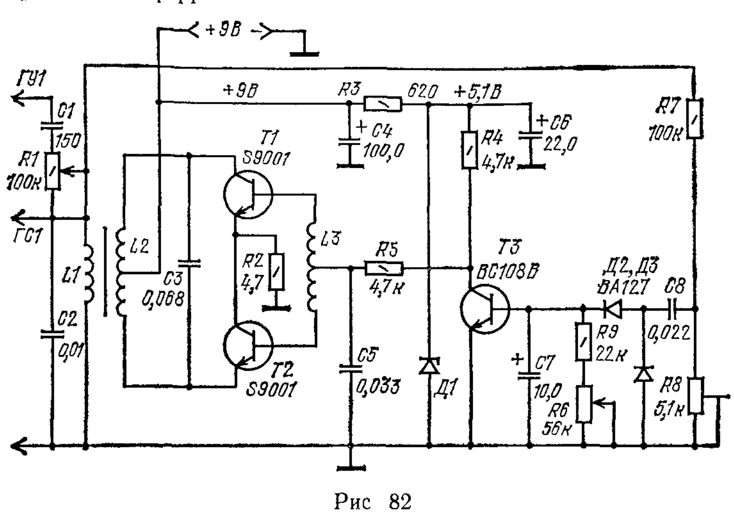


Рис 82

Нагрузкой генератора являются стирающая головка *ГС1* и универсальная головка *ГУ1*, подключенная через корректирующую цепь *R1C1*. Переменный резистор *R1* используется для установки наилучшего значения тока подмагиичивания. Высокая стабильность амплитуды генерируемых колебаний, наблюдаемая как при снижении напряжения питания, так и при изменении сопротивления нагрузки, обусловлена наличием автоматической регулировки уровня напряжения смещения в базовых цепях транзисторов *Т1* и *Т2*

Система АРУ действует следующим образом. Напряжение высокой частоты с выходной обмотки *L1* через делитель напряжения на резисторах *R7* и *R8* подается на общую точку двух диодов *Д2, Д3*, которые вместе с конденсаторами *С7, С8* образуют выпрямитель с удвоением напряжения. Выпрямленное напряжение фильтруется цепочкой *C7R9R6* и подается на базу транзистора *Т3*, работающего в режиме усилителя постоянного тока. Коллектор транзистора *Т3* соединен с выходом маломощного стабнлизатора напряжения на стабилитроне *Д1* через резистор *R4*. Напряжение смещения на базы транзисторов *Т1* и *Т2* поступает через фильтр *R5C5*, подключенный своим входом к коллектору транзистора *Т3*. Таким образом, чем больше амплитуда напряжения на выходе генератора, тем больше выпрямленное напряжение и ток коллектора транзистора *Т3*, тем меньше напряжение на его коллекторе и на базах транзисторов *Т1* и *Т2*. А это, как известно, приводит к умеиьшению амплитуды колебаний генератора во всех его обмотках. Путем последовательной регулировки переменных резисторов *R8* и *R6* можно установить желаемое значение амплитуды выходного сигнала.

При повтореиии конструкции можно использовать транзисторы типа ГТ404Б (*Т1* и *Т2*), КТ315В или КТ315Г, КТ312Б (*Т3*), диоды типа Д220 (*Д2, Д3*),

стабилитрон типа КС156А (*Д1*). Катушки индуктивности, головки универсальная и стирающая могут быть любыми в соответствии с основной электрической схемой магнитофона.

Введение кнопки «Трюк». В рекламных проспектах на высококачественные магнитофоны зарубежные фирмы обязательно указывают, что в отличие от простых и дешевых магнитофонов здесь есть кнопка *«Трюк»*. Это означает, что в данный магнитофон введена специальная кнопка, с нажатием которой прекращается стирание предшествующей записи, сделанной ранее, а поверх прежней производится новая запись. Это дает возможность записать свой голос на фоне музыкального сопровождения или свести на магнитную пленку голоса двух людей, которые никогда друг друга не знали и не видели, и т. п. Конечно, все это можно сделать только в режиме записи.

На рис. 83 приведены два варианта отключения стирающей головки с помощью трюковой кнопки *Кн1*. В первом случае (рис. 83,*а*) выход генератора высокой частоты с помощью кнопки *Кн1* переключается на эквивалент нагрузки, состоящий из параллельно соединенных катушки индуктивности *L1* и резистора *R1*. Катушка должна иметь индуктивность, равную индуктивности ГС, а сопротивление резистора *R1* — сопротивлению потерь отключаемой головки. Для большинства стирающих головок индуктивность катушки равна примерно 1,5—3 мГн.

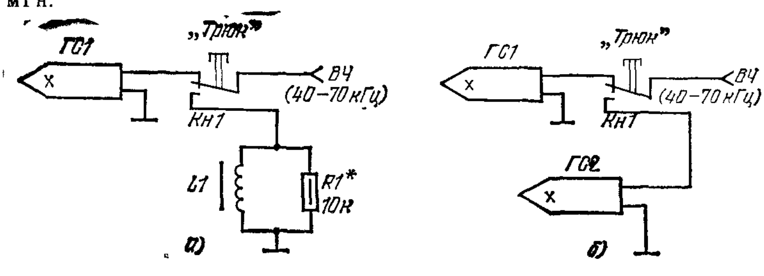


Рис 83

К сожалению, в описаниях магнитофонов не приводятся конструктивные данные таких катушек индуктивности. В этом отношении вариант по схеме рис. 83,*б* более удобен в любительской практике. Кнопка *«Трюк»* переключает выход генератора высокой частоты на вторую стирающую головку того же типа, что и первая. Эта дополнительная головка может находиться рядом с кнопкой. Учитывая относительную доступность и дешевизну стирающих головок, вариант схемы на рис. 83,*б* является предпочтительным.

Практика показала, что попытки радиолюбителей вводить в кассетные магнитофоны кнопки *«Трюк»* только за счет отключения стирающей головки без включения на выходе генератора высокой частоты эквивалента нагрузки приводят к ухудшению качества повторной записи, а иногда и к выходу из строя транзисторов генератора.

Динамический ограничитель шума в паузах. Недостатком простых кассетных магнитофонов является их относительно высокий уровень внутренних шумов, составляющий при воспроизведении на номинальной мощности УНЧ —40 дБ от мощности полезного сигнала. Этот шум становится особенно заметным в паузах, когда он уже больше не маскируется сигналом. Действие внутреннего шума можно уменьшить, если применить специальное шумопонижающее устройство, которое уменьшает усиление в паузах и корректирует амплитудно-частотную характеристику УНЧ на частотах выше 4,5 кГц при работе с малой громкостью.

На рис. 84 дана принципиальная схема одного из возможных вариантов динамического ограничителя уровня шума на выходе кассетного магнитофона в паузах и при работе с малой громкостью сигнала. Оно содержит три каскада на транзисторах *Т1—Т3* и диодах *Д1*, *Д2*. Входной сигнал с предварительного каскада усилителя воспроизведения магнитофона или с его линейного выхода подается на гнездо *Гн1*. Уровень входного сигнала регулируется пере-

менным резистором *R1*. Первый каскад на транзисторе *T1* является усилителем по схеме с общим эмиттером. Второй каскад регулирующий. При относительно большом входном сигнале диоды *Д1* и *Д2* проводят ток в обоих направлениях, транзистор *T2* оказывается зашунтированным, поэтому сигнал с коллектора транзистора *T1* проходит с небольшим ослаблением через диоды, конденсатор *C6* и часть резистора *R9* на базу выходного транзистора *T3*. Таким образом, каскад на транзисторе *T2* не препятствует прохождению сигнала через перемычку, соединяющую коллектор *T1* с резистором *R9*.

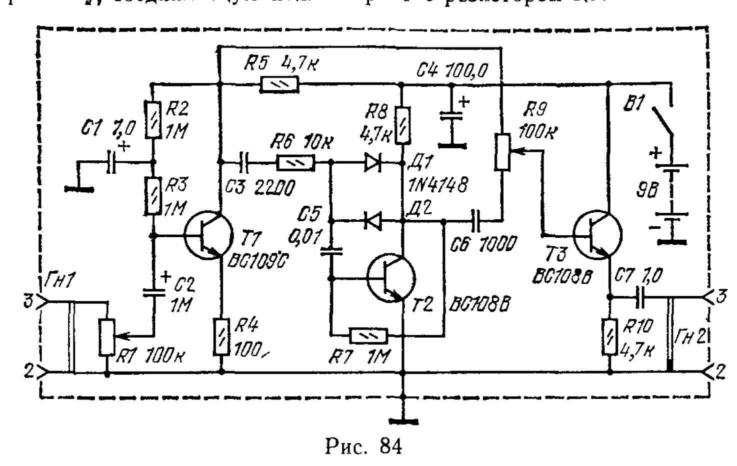


Рис. 84

При слабом сигнале или полном его отсутствии напряжения сигнала и шумов на коллекторе транзистора *T1* недостаточно для отпирания диодов, поэтому их внутреннее сопротивление велико и они не шунтируют транзистор *T2*. Теперь транзистор *T2* работает в режиме усилителя по схеме с общим эмиттером и инвертирует напряжение, поступающее с коллектора транзистора *T1* через цепочку *C3R6*. В результате на резисторе *R9* происходит противофазное сложение зашумленного сигнала, т. е. подавление шумов. Причем это подавление особенно велико на высших частотах, поскольку именно на них амплитудно-частотная характеристика каскада на транзисторе *T2* имеет подъем за счет малой емкости переходных конденсаторов *C3* и *C6*.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ342Б (*T1*), КТ315В, КТ315Г (*T2*, *T3*), диоды типа Д220. При указанных на схеме рис. 84 емкостях конденсаторов и резисторов устройство управляет усилением в полосе частот выше 4 кГц при максимальной полосе пропускания около 8 кГц

Налаживание сводится к установке переменным резистором на входе приставки уровня сигнала, при котором достигается наилучшее ограничение уровня шума. Динамика ограничения на высоких частотах устанавливается переменным резистором *R9*, регулирующим соотношение амплитуд двух противофазных напряжений сигнала, поступающих на вход каскада на транзисторе *T3* с выходов первого и второго каскадов. Положение движка резистора *R9* зависит от разброса параметров транзисторов, резисторов и конденсаторов, особенно *C3* и *C6*.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФОНОВ И РАДИОЛ

Значительные усовершенствования, которые претерпели грампластинки, УНЧ, громкоговорители, привели к еще большему интересу радиолюбителей к воспроизведению грамзаписей. О том, что может сделать радиолюбитель для улучшения своих конструкций в этом плане, пойдет речь в данном параграфе.

Простой электрофон. У ряда радиолюбителей существует мнение, что хороших результатов при воспроизведении грампластинок можно достичь лишь

с помощью уникальных и очень сложных электрофонов. Конечно, они правы, но лишь отчасти. Опыт зарубежных радиолюбителей-конструкторов показывает, что можно с помощью небольшого числа доступных деталей и узлов собрать относительно простой электрофон, обладающий неплохими данными. В качестве примера можно сослаться на электрофон, предназначенный для прослушивания монофонических грампластинок любого диаметра, на любой скорости. Принципиальная схема электрофона приведена на рис. 85.

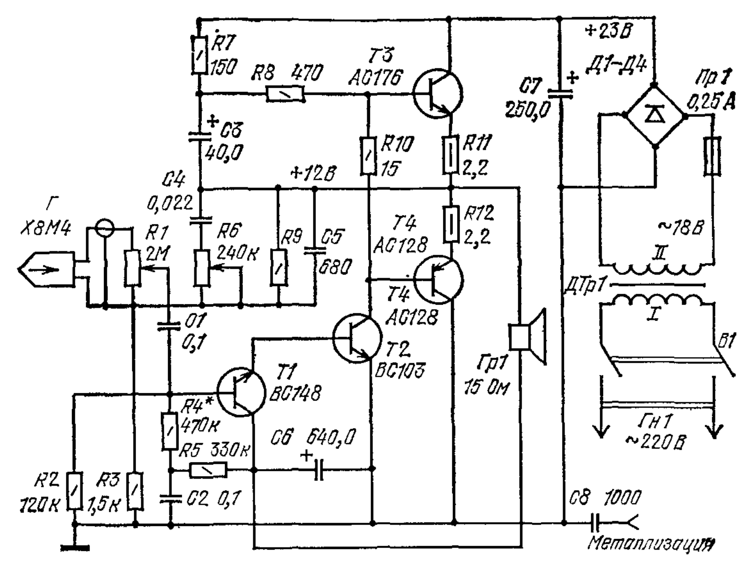


Рис. 85

Электрофон эффективно воспроизводит грамзаписи в полосе частот от 50 Гц до 14 кГц, что обусловлено в основном частотными свойствами керамической головки звукоснимателя и встроенной головкой громкоговорителя Максимальная выходная мощность его усилителя мощности 2,5 Вт при коэффициенте гармонических искажений около 1,%. Главным достоинством электрофона является простота (всего четыре транзистора) и отсутствие трансформатора для получения пониженного напряжения питания выпрямителя УНЧ. Его роль выполняет двигатель-трансформатор *ДТр1*, у которого на статоре присутствует дополнительная обмотка для питания выпрямителя.

Кроме того, в электрической принципиальной схеме приняты дополнительные меры по уменьшению действия внутренних помех, шума и нелинейных искажений сигнала. Для этой цели имеется несколько ветвей отрицательной обратной связи, в том числе сходящихся на резисторе *R3* и конденсаторе *C2*. Уменьшению фона с частотой сети и пульсаций выпрямленного напряжения способствует соединение металлических частей УНЧ и собственно механизма проигрывающего устройства через конденсатор *C8* (емкостью 1000 пФ).

В электрофоне предусмотрены только две регулировки — громкости с помощью переменного резистора *R1* и тембра в области верхних частот переменным резистором *R6*. Сопротивление катушки динамической широкополосной головки повышенной отдачи равно 15 Ом

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ342А или КТ315В (*T1*), КТ315В, КТ315Г (*T2*), ГТ404Б (*T3*), ГТ402Б (*T4*). Головка звукоснимателя типа 11 ГЗК-661 с полосой эффективно воспроизводимых частот от 50 Гц до 12,5 кГц. Нагрузкой УНЧ могут быть две головки типа 1ГД-40-100Р, включенные синфазно последовательно. Двигатель-трансформатор типа АДТ 1,6/10-2 от магнитофона «Вильма 303» или «Вильма 302 стерео» ли-

бо типа АДТ-6 от магнитофона «Яуза 212». Можно также использовать обычную панель электропроигрывающего механизма II или III класса и отдельно понижающий трансформатор для питания выпрямителя переменным напряжением 18 В. Мощность трансформатора должна быть равна 10—15 Вт.

В выпрямителе могут быть использованы четыре диода типа Д226 или Д229 с любыми буквенными индексами. Провод, ведущий к головке звукоснимателя, должен быть экранированным.

Налаживание сводится к подбору сопротивления резистора *R4*, при котором напряжение на эмиттерах транзисторов *Т3* и *Т4* будет равно 12 В относительно общего провода. Емкость конденсатора *С7* необходимо увеличить до 1000 мкФ при номинальном напряжении 30 В.

«Рокот-фильтр» на одном транзисторе. Недостатком электрофонов с фрикционным зацеплением, применяемым в электрофонах и радиолах невысокого класса, является прослушивание через громкоговоритель неприятного на слух низкочастотного рокота механизма. Измерения показывают, что основной спектр этого вида помех сосредоточен в области очень низких частот, обычно ниже 35—50 Гц. Как правило, эти частоты плохо воспроизводятся громкоговорителями простых электрофонов, лежат вне гарантированной полосы пропускания УНЧ. У радиолюбителя может возникнуть вопрос: как же воспроизводятся частоты, лежащие вне полосы пропускания усилителя и громкоговорителя?

Все дело в том, что за пределами полосы пропускания спады амплитудно-частотной характеристики тракта воспроизведения недостаточно круты. А для того чтобы подавить воспроизведение нежелательных помех, лежащих на частотах ниже полосы пропускания, нужно применить фильтр, имеющий большую крутизну спада амплитудно-частотной характеристики на частотах ниже 35—50 Гц. Такие фильтры называются «рокот-фильтрами».

На рис. 86 приведена принципиальная схема простого «рокот-фильтра», собранного всего на одном транзисторе *Т1*. Для его питания требуется батарея из двух элементов общим напряжением 3 В. Потребляемый ток около 0,2 мА. Входное сопротивление с гнезда *Гн1* 50 кОм, выходное (со стороны гнезда *Гн2*) 5 кОм. Ослабление сигнала на частоте 35 Гц по сравнению с частотой 1 кГц составляет —3 дБ, на частоте 10 Гц —37 дБ. Для сравнения можно указать, что в УНЧ без «рокот-фильтра» ослабление на частоте 10 Гц обычно составляет менее —12 дБ.

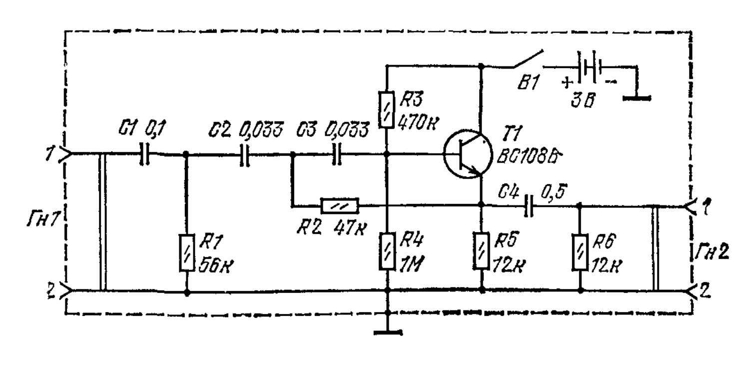


Рис 86

При повторении можно применить транзисторы типа КТ342А или КТ315В с коэффициентом передачи $h_{21э} = 100$ и более. Конструктивно фильтр может быть выполнен в виде отдельного блока, как показано на рис. 86, или вместе с каскадом предварительного усиления УНЧ. В этом случае вместо отдельной батареи на 3 В потребуется стабилизированное напряжение 3—4 В от основного источника питания.

Практика показывает, что применение «рокот-фильтра» дает заметный ре-

зультат при очень низкой граничной частоте основного УНЧ (5—10 Гц на уровне —6 дБ).

Комбинированный фильтр для электрофона. Владельцы электрофонов и радиол знают, что качество воспроизведения грампластинок зависит от степени их изношенности. Свежие, проигрываемые в первый раз грампластинки звучат чисто, прослушиваются высшие частоты, шумы едва заметны. Но по мере увеличения числа проигрываний воспроизведение высших частот ухудшается, становятся заметными шумы, шорохи.

В результате проведенных исследований было установлено, что качество воспроизведения грампластинок различной степени изношенности можно несколько улучшить, отрегулировав полосу пропускания усилителя в области верхних частот путем увеличения крутизны спада амплитудно-частотной характеристики усилителя за граничной полосой до 12 дБ/окт и уменьшения полосы пропускания. Считается, что для новых грампластинок при хорошем уходе за ними можно расширить полосу пропускания УНЧ электрофона до 16 кГц. Если грампластинка находится в хорошем состоянии, но уже проигрывалась 10—15 раз, то полосу пропускания следует сузить до 12 кГц. При сильной изношенности грампластинки полоса частот, воспроизводимых усилителем, не должна быть шире 7 кГц.

Получается, что для высококачественного воспроизведения грампластинок требуется, с одной стороны, применять «рокот-фильтр», с другой — набор фильтров, ограничивающих полосу пропускания усилителя в области верхних частот. Как тут быть?

На рис. 87 дана принципиальная схема комбинированного фильтра сигнала после звукоснимателя электрофона, в котором имеется «рокот-фильтр» с частотой среза 45 Гц и ограничитель полосы пропускания верхних частот с тремя дискретными значениями частоты ограничения: 7, 12 и 16 кГц, т. е. один каскад, собранный на двух транзисторах *Т1* и *Т2*, обеспечивает необходимую коррекцию полосы пропускания УНЧ электрофона.

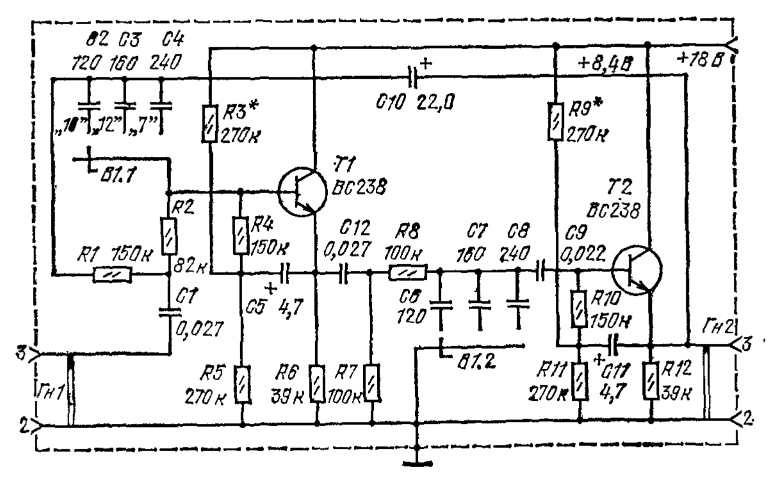


Рис. 87

Схема комбинированного фильтра обошла страницы радиолюбительских журналов многих стран мира. Входное сопротивление фильтра около 1,5 МОм, выходное 0,5 кОм. Коэффициент передачи около единицы. Фильтр вносит малые искажения. Коэффициент гармонических искажений при входном напряжении до 1 В 0,1%, при 2 В 0,35%.

При повторении конструкции можно использовать транзисторы типа КТ342А или КТ315В. Переключатель полос *В1* на три положения по двум направлениям может быть любого типа. Входное гнездо *Гн1* и выходное *Гн2* типа СГ-3.

Фильтр можно выполнить на той же монтажной плате, что и предварительный каскад усиления, при этом необходимость в гнездах отпадает.

Налаживание сводится к подбору сопротивлений резисторов *R3* и *R9* для коррекции режимов работы по постоянному току соответственно транзисторов *T1* и *T2*.

Очевидно, что для стереофонического электрофона потребуется два идентичных фильтра, причем для синхронного переключения полос пропускания верхних частот у них должен быть общим переключатель на три положения по четырем направлениям.

«Рокот-фильтр» для стереоэлектрофона. Конструкция «рокот-фильтра» для стереоэлектрофона или радиолы может быть упрощена, а качество его работы улучшено, если при разработке учесть одну особенность сигналов на выходе стереофонического звукоснимателя. Дело в том, что напряжения сигналов находятся в фазе, а напряжения помех, обусловленных рокотом и биениями в проигрывающем механизме, — в противофазе. Поэтому подавить рокот и биения на нижних частотах можно, сведя оба стереофонических сигнала в один монофонический на частотах ниже полосы пропускания усилителя. Это не должно привести к ухудшению стереоэффекта, так как он проявляется на частотах выше 200—300 Гц.

На рис. 88 приведены принципиальная схема (*а*) и амплитудно-частотная характеристика (*б*) «рокот-фильтра» для стереофонического электрофона, в котором осуществлен изложенный выше принцип. Действует фильтр следующим образом. Входные сигналы с выходов звукоснимателя подаются на контакты гнезда *Гн1*. Далее с помощью простейших фазосдвигающих цепей колебания нижних частот из одного канала передаются в другой, где частично или полностью компенсируются. Как видно из рис. 88,*б*, при подаче на входы фильтра измерительного сигнала напряжением 1 В выходное напряжение без перекрестных фазосдвигающих цепей менялось бы плавно от 0,7 до 0,3 В при изменении частоты сигнала от 10 Гц до 1 кГц, т. е. нижние частоты помех подчеркиваются.

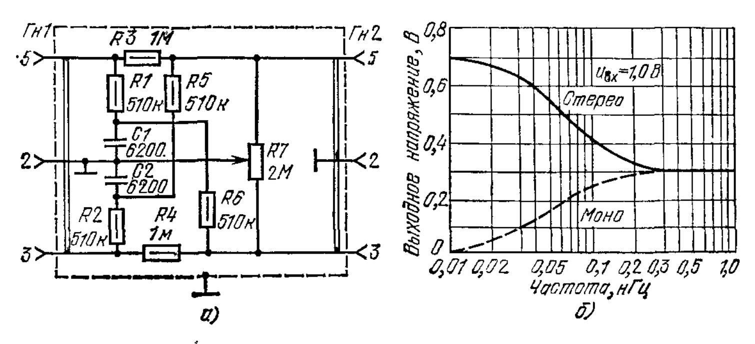


Рис. 88

При сведении нижних частот обоих каналов в один монофонический сигнал (кривая моно) выходное напряжение при тех же начальных данных меняется совершенно иначе: наблюдается плавное увеличение выходного напряжения практически от 0 до 0,3 В, т. е. перекрестные связи данного рокот-фильтра практически полностью подавили помехи от проигрывающего механизма на нижних частотах.

При повторении конструкции следует учесть, что пассивный «рокот-фильтр» по схеме рис. 88,*а* дает ослабление напряжения по каждому каналу примерно в 3 раза. Поэтому его целесообразно включать не сразу после звукоснимателя, а после предварительного каскада усиления. Рекомендуется также использовать данный «рокот-фильтр» в качестве составного элемента корректирующего усилителя.

Улучшение звучания электрофонов. Обычно радиолюбители начинают совершенствование электрофонов с громкоговорителя, далее переходят к усилителю мощности, каскадам регулировкн громкости и тембра и останавлнваются на применении «рокот-фильтра». Нередко они совершенствуют проигрывающий механизм. В большинстве случаев такие усовершенствования значительно улучшают работу электрофона, позволяют расширить полосу воспроизводимых частот, уменьшить гармонические искажения и т. п. Но так уж «устроены» радиолюбители, что через некоторое время их начинает мучить вопрос: а что еще можно применить или заменить, чтобы сделать электрофон еще лучше?

Например, во многих отечественных электрофонах применяют звукосниматели с керамической головкой III класса типа III ГЗК-661, имеющей полосу воспроизведения частот от 50 Гц до 10 кГц при неравномерности в полосе частот до 12 дБ. Точно такую же конструкцию имеет головка II класса типа II ГЗК-661, полоса воспроизводимых частот которой шире — от 50 Гц до 12,5 кГц, а неравномерность воспроизведения меньше — не более 10 дБ. Обе названные выше головки монофонические. Стереофоническая керамическая головка типа ГЗК-668С имеет еще более широкую полосу воспроизводнмых частот и меньшую неравномериость воспроизведения. Но все же лучшей работы электрофона можно добиться лишь при использовании магнитной головки с алмазной иглой. Такие головки применяют в электрофонах высшего класса большинства зарубежных фирм. Отечественные магнитные стереофонические головки типа ГЗМ-003 в полной мере соответствуют современым требованиям к головкам электрофонов первого и высшего классов. Головки типа ГЗМ-003, предназначенные для установки в электрофонах I класса, имеют полосу воспроизводимых частот от 31,5 Гц до 16 кГц при неравномерности около 3 дБ. Головки типа ГЗМ-003, устанавливаемые в аппаратуре высшего класса, имеют полосу воспроизводимых частот от 20 Гц до 20 кГц при неравномерности около 2 дБ. Алмазные иглы имеют срок службы 1000 ч, т. е. на порядок больше, чем корундовые.

Многие радиолюбители в нашей стране и за рубежом, узнав о замечательных свойствах магнитных головок, поспешили применить их в своих электрофонах и радиолах взамен старых керамических головок и ... разочаровались. Вместо расширения полосы воспроизводимых частот, значительного уменьшения неравномерности воспроизведения различных частот они получили заметное уменьшение чувствительности УНЧ и еще большую неравномерность воспроизведения частот. Прн этом во всех случаях наблюдалось ослабление нижних частот и резкое подчеркивание высших. В чем дело?

Причины первых неудачных опытов радиолюбителей с магнитными головками объясняются следующим. Во-первых, чувствительность магнитных голо-

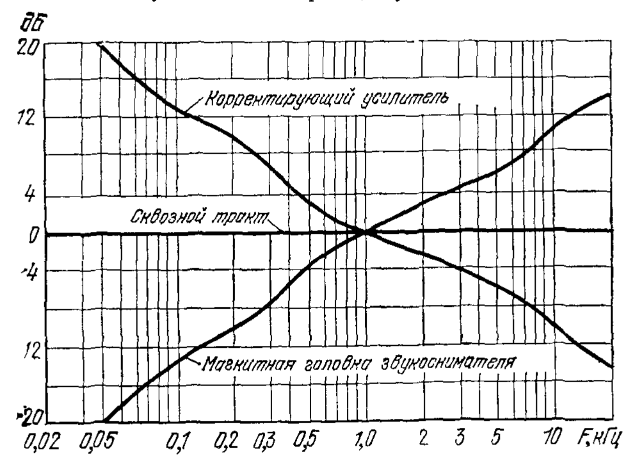


Рис 89

вок на средних частотах примерно в 10 раз ниже, чем у керамических. Например, если выходное напряжение стереофонической керамической головки на частоте 1 кГц составляет в среднем не менее 50—100 мВ, то магнитная головка в тех же условиях имеет выходное напряжение не более 5—10 мВ.

Во-вторых, для нормальной работы магнитной головки требуется, чтобы входное сопротивление первого каскада УНЧ было небольшим, всего около 50 кОм, тогда как керамические головки требуют применения каскада с входным сопротивлением в пределах 300—500 кОм и более.

В-третьих, амплитудно-частотная характеристика магнитных головок имеет примерно линейный подъем по мере увеличения частоты сигнала, тогда как амплитудно-частотная характеристика керамических головок в среднем горизонтальна, хотя и с большими отклонениями. На рис. 89 приведены три различные амплитудно-частотные характеристики. Первая, имеющая равномерный подъем по мере увеличения частоты сигнала, — характеристика магнитной головки. Вторая — оптимальная амплитудно-частотная характеристика сквозного тракта (головка — усилитель) — горизонтальна в полосе частот от 20 Гц до 20 кГц. Очевидно, что добиться желаемого можно в том случае, если амплитудно-частотная характеристика усилителя будет иметь вид, обратный характеристике магнитной головки. Такой усилитель называется корректирующим. Его усиление должно, как это видно из рис. 89, падать с увеличением частоты сигнала. Очевидно, что для обеспечения дополнительного усиления сигнала по крайней мере в 10 раз корректирующий усилитель должен иметь необходимое входное сопротивление и малый уровень собственных шумов.

На рис. 90 приведена принципиальная схема корректирующего усилителя для стереофонического электрофона с магнитной головкой. Входное сопротив-

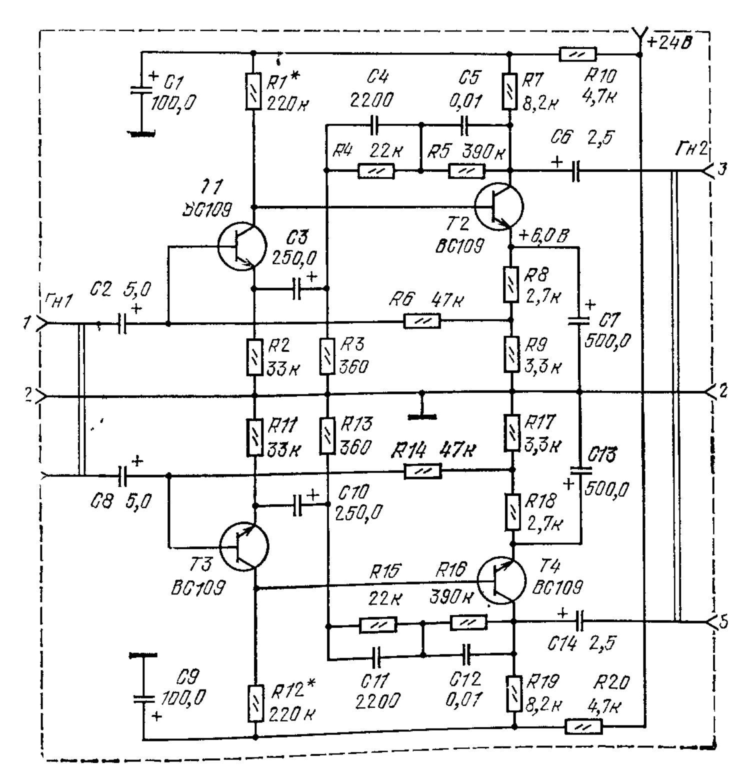


Рис. 90

ление около 47 кОм. При входном напряжении сигнала на частоте 1 кГц, равном 4,5 мВ, выходное напряжение составляет 400 мВ при коэффициенте гармонических искажений не более 0,06%. Амплитудно-частотная характеристика усилителя совпадает с кривой, приведенной на рис. 89. Необходимая частотная коррекция осуществляется с помощью цепочек *C4R4C5R5* (для одного канала) и *C11R15C12R16* (для другого). В каждом канале используется по два кремниевых высокочастотных транзистора с $h_{21Э}$ =150—450, обладающих малыми собственными шумами и способных работать в микрорежиме, т. е. при коллекторных токах порядка десятков микроампер. Из транзисторов широкого применения здесь можно использовать транзисторы типа КТ315В или КТ315Г. Желательно, чтобы транзисторы усилителя имели небольшой разброс параметров.

Налаживание корректирующего усилителя по схеме на рис. 90 сводится к подбору сопротивлений резисторов *R1* и *R12* для установки требуемого постоянного напряжения на эмиттерах транзисторов *T2* и *T4*.

Многих радиолюбителей интересует вопрос: а нельзя ли с помощью корректирующего усилителя улучшить работу более доступных и недорогих керамических головок? Ведь пока стоимость магнитной головки с алмазной иглой по крайней мере в несколько раз больше стоимости керамической головки. Оказывается, можно Для этого необходимо использовать корректирующий усилитель, предназначенный для магнитной головки, например, по схеме рис. 90 и соответствующим образом изменять амплитудно-частотную характеристику керамической головки. А для этого требуется всего лишь зашунтировать выход керамической головки дополнительным резистором сопротивлением около 3—10 кОм. Пусть читатель не думает, что допущена опечатка. Все дело в том, что для получения небольшой неравномерности в полосе частот, воспроизводимых керамической головкой, требуется уменьшить входное сопротивление усилителя примерно в 100 раз по сравнению с обычным режимом работы. При этом, конечно, происходит уменьшение чувствительности головки на средних частотах примерно в 10—15 раз. Зависимость формы амплитудно-частотной характеристики керамической головки, аналогичной отечественной головке типа ГЗК-661, от входного сопротивления усилителя показана на рис. 91.

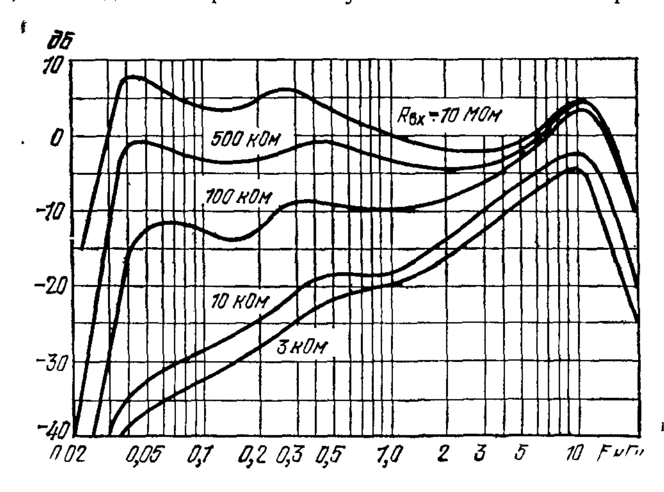


Рис. 91

Как видно из рис. 91, уменьшение входного сопротивления усилителя приводит к уменьшению отдачи на средних и особенно нижних частотах. Причем в случае низкого входного сопротивления усилителя (или дополнительного шунтирования головки) наблюдается почти такой же вид амплитудно-частотной характеристики керамической головки, как и магнитной головки (см.

рис. 89). Эксперименты, проведенные автором, подтвердили заметное улучшение качества звучания электрофона с керамической головкой типа ГЗК-661 при таком не совсем обычном ее включении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зарубежные радиолюбительские конструкции, описанные в данной книге, являются характерными для творчества радиолюбителей 70-х годов. Радиолюбительские конструкции, описания которых появились в 1980 г., отличаются более широкой тематикой. Смелее и шире стали применяться интегральные микросхемы, полевые транзисторы различных типов. В результате внедрения новой элементной базы получили распространение цифровые методы формирования и обработки сигналов, в частности, при записи и воспроизведении звука. Цифровые методы измерения частоты, времени, электрических характеристик радиодеталей, узлов и устройств в целом находят применение при создании любительских измерительных приборов различного назначения. Увеличилось применение оптоэлектронных приборов, например светодиодов, фотодиодов, оптронов, а также индикаторов на жидких кристаллах и светодиодных матрицах.

Знакомство с радиолюбительской литературой многих стран мира убеждает, что у советских радиолюбителей есть много конструкций, которые охотно повторяют зарубежные радиолюбители. Поэтому автор рекомендует читателю, заинтересовавшемуся вопросами конструирования тех или иных устройств, описанных на страницах данной книги или зарубежных радиолюбительских журналов, обратиться к книгам и брошюрам отечественных авторов, список которых приводится в конце книги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Апполонова Л. П., Шумова Н. Д. Механическая звукозапись. Изд. 2-е. — М.: Энергия, 1978. — 232 с.

Бродкин В. М. Механизмы магнитофонов. — М.: Энергия, 1977. — 80 с.

Галеев Б. М., Сайфуллин Р. Ф. Светомузыкальные устройства. — М.: Энергия, 1978. — 176 с.

Горбатый В. И. Любительские УКВ радиостанции на транзисторах. — М.: Энергия, 1978. — 78 с.

Ковалгин Ю. А., Борисенко А. В., Гензель Г. С. Акустические основы стереофонии. — М.: Связь, 1978. — 336 с.

Кругликов Д. А. Любительские кассетные магнитофоны. — М.: Энергия, 1978. — 120 с.

Милехин А. Г. Радиотехнические схемы на полевых транзисторах. — М.: Энергия, 1976. — 142 с.

Мишустин И. А. Повышение помехоустойчивости радиолюбительского приема. — М.: Энергия, 1974. — 88 с.

Сапожков М. А. Электроакустика. — М.: Связь, 1978. — 272 с.

Медведовский Д. С., Гузевич О. Н. Электрогитара и усилитель. — Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1974. — 112 с.

Меерзон Б. Я. Электромузыкальные инструменты. — М.: Знание, 1977. — 64 с.

Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. — 4-е изд./Под ред. Н. Н. Горюнова. — М.: Энергия, 1976. — 744 с.

Хлупнов А. И. Любительские усилители низкой частоты. — М.: Энергия, 1976. — 80 с.

Фурдуев В. В. Стереофония и многоканальные звуковые системы. — М.: Энергия, 1973. — 112 с.

Эфрусси М. М. Громкоговорители и их применение. — М.: Энергия, 1976. — 144 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ